

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ivan Marić

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Krešimir Grilec, dipl. ing.

Student:

Ivan Marić

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru profesoru dr. sc. Krešimiru Grilecu na pruženoj pomoći tijekom izrade završnoga rada. Također, zahvaljujem se i asistentu Draženu Mezdiću te tehničkim suradnicima Ivanu Vovku i Dubravki Ulagi na pomoći pri ispitivanju uzoraka i na korisnim savjetima.

Zahvaljujem se ovlaštenom Audi servisu Zubak te Autoklubu Siget na ustupljenim informacijama i materijalima koji su mi trebali za izradu ovoga rada.

Posebno se zahvaljujem obitelji i prijateljima koji su mi bili velika podrška tijekom preddiplomskog studija.

Ivan Marić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **IVAN MARIĆ**

Mat. br.: 0035207758

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **TROŠENJE KOČIONIH OBLOGA DISK KOČNICA**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **WEAR OF DISC BRAKE LININGS**

Opis zadatka:

Kočnice služe za usporavanje kretanja vozila ili potpuno zaustavljanje. Kod osobnih motornih vozila najviše su u primjeni disk kočnice kod kojih se usporavanje ostvaruje trenjem između pločice s kočionom oblogom te diska kočnice.

U ovom radu je potrebno:

- 1) Opisati tribosustav kočiona pločica - disk kočnice.
- 2) Dati pregled materijala koji se koriste za izradu obloga kočionih pločica i diskova.
- 3) Prikupiti podatke o kriterijima izmjene kočionih obloga.
- 4) Pronaći primjer istrošenih kočionih obloga i analizirati njihovo trošenje.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Zadatak zadao:

K. Grilec

Prof.dr.sc. Krešimir Grilec

Rok predaje rada:

1. rok: 22. veljače 2019.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.

3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.

3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Predsjednik Povjerenstva:

Branko Bauer

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
1.1. Tribologija.....	1
1.2. Kočne karakteristike vozila.....	2
1.3. Parametri kočenja.....	2
1.4. Valjci za ispitivanje kočnica	3
2. Disk kočnice.....	5
2.1. Obilježja disk kočnica	6
2.2. Zagrijavanje disk kočnica.....	6
2.3. Vrste disk kočnica s obzirom na kliješta (sedlo).....	6
2.3.1. Disk kočnica s nepokretnim kliještima	7
2.3.2. Disk kočnica s pokretnim (plivajućim) kliještima	7
2.4. Zračnost između diskova i pločica	8
3. Kočioni disk	9
3.1. Ventilirajući kočni diskovi	9
3.2. Keramički diskovi	10
3.2.1. Izrada keramičkih diskova	10
3.3. Sivi lijev – najčešći materijal u proizvodnji disk kočnica.....	12
3.3.1. Kemijski sastav i mikrostruktura sivog lijeva	12
3.3.2. Fizikalna svojstva sivog lijeva	13
4. Disk pločice (kočne pločice)	14
4.1. ATE Keramičke disk pločice	16
4.2. Izmjena disk pločica.....	17
4.3. Moment kočenja disk kočnica.....	18
5. Fading – otkazivanje kočnica	18
6. Kočiona tekućina.....	19
7. Eksperimentalni dio.....	21
7.1. Kriteriji izmjene kočionog diska i pločice	21
7.2. Analiza kemijskog sastava kočionih diskova i obloga.....	27
7.2.1. Analiza kemijskog sastava kočionih diskova.....	30
7.2.2. Analiza kemijskog sastava kočionih obloga	33
7.3. Metalografska analiza.....	36
7.3.1. Metalografska priprema uzoraka.....	36
7.3.1.1. Izrezivanje reprezentativnih uzoraka i zalijevanje u polimernu smjesu	36
7.3.1.2. Brušenje uzoraka	37
7.3.1.3. Poliranje uzoraka.....	38

7.3.1.4. Nagrizanje uzoraka.....	39
7.3.2. Analiza mikrostrukture u poliranom stanju.....	40
7.3.3. Analiza mikrostrukture u nagriženom stanju	48
7.4. Mikrotvrdoća.....	53
7.5. Analiza tragova trošenja.....	54
8. Zaključak.....	63
9. Literatura	64

POPIS SLIKA

Slika 1. Opći oblik procesa trošenja [2]	1
Slika 2. Ispitivanje kočnica na valjcima za tehnički pregled [4].....	3
Slika 3. Shema valjaka za ispitivanje kočnica [3]	3
Slika 4. Shema rada disk kočnice [5]	5
Slika 5. Disk kočnice s nepokretnim kliještima i pokretnim (plivajućim) kliještima [6]	6
Slika 6. Disk kočnica s nepokretnim kliještima (2+2 klipa) [3].....	7
Slika 7. Disk kočnica s pokretnim kliještima [6]	8
Slika 8. Regulacija zazora uz pomoć brtvenog prstena [6]	8
Slika 9. Ventilirajući kočni disk [7]	9
Slika 10. Keramički diskovi za Audi A8 [9]	10
Slika 11. Izrada keramičkih diskova u kalupima [8].....	11
Slika 12. Keramički diskovi u primjeni kod brzih automobila marke Ferrari [8].....	12
Slika 13. Prikaz strukture sivog lijeva sa izlučenim grafitom u obliku listića – shematski prikaz feritno-perlitne mikrostrukture matrice [11]	13
Slika 14. Shematski prikaz parametara koji definiraju morfologiju grafitnih listića [10]	14
Slika 15. Primjer nove i potrošene disk pločice	15
Slika 16. Grafički prikaz ATE-ove tehnologije za smanjivanje buke prilikom kočenja [13]..	16
Slika 17. Tokarenje diskova prilikom izmjene disk pločica [14].....	17
Slika 18. Površina djelovanja disk pločice [3]	18
Slika 19. Promjena koeficijenta trenja pri kočenju (normalna promjena i fejdng) [6]	19
Slika 20. Kočiona tekućina DOT 3 proizvođača BOSCH [15].....	20
Slika 21. Audi A4, 2016.god. [17]	21
Slika 22. BMW serije 5, 2017.god. [18]	22
Slika 23. BMW serije 3, 2003.god. [19]	22
Slika 24. Mercedes-Benz M-Class, 2011.god. [20]	23
Slika 25. Volkswagen Passat 2014. [21]	23
Slika 26. Renault Twingo II, 2014.god. [22]	24
Slika 27. Opel Astra, 2003.god. [23].....	24
Slika 28. Dacia Logan, 2013.god. [24]	25
Slika 29. Audi Q7, 2015.god. [25]	25
Slika 30. Peugeot 308, 2012.god. [26]	26
Slika 31. Ispitivani kočioni disk 1	27
Slika 32. Ispitivani kočioni disk 2	27
Slika 33. Ispitivana kočiona obloga 1	28
Slika 34. Ispitivana kočiona obloga 2	28
Slika 35. Izrezani uzorci kočionih diskova 1 i 2	28
Slika 36. Izrezani uzorci kočionih obloga 1 i 2.....	29
Slika 37. XRF analizator kemijskog sastava proizvođača Innov-X Systems.....	29
Slika 38. Lokacije analize kemijskog sastava kočionog diska 1	30
Slika 39. Lokacije analize kemijskog sastava kočionog diska 2	31
Slika 40. Lokacije analize kemijskog sastava kočione obloge 1	33
Slika 41. Lokacije analize kemijskog sastava kočione obloge 2.....	34
Slika 42. Uređaj za zalijevanje uzoraka “PNEUMET PRESS” proizvođača Buehler LTD	36
Slika 43. Uređaj za brušenje i poliranje, Buehler Phoenix Alpha.....	37
Slika 44. Uređaj za poliranje, Struers Dap-V.....	38
Slika 45. Uzorci kočionih diskova i obloga u poliranom stanju	39
Slika 46. Uzorci kočionih diskova i obloga u nagriženom stanju.....	39
Slika 47. Svjetlosni mikroskop OLYMPUS GX51.....	40

Slika 48. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 1 pri povećanju od 50x	40
Slika 49. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 1 pri povećanju od 100x	41
Slika 50. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 1 pri povećanju od 200x	41
Slika 51. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 1 pri povećanju od 500x	42
Slika 52. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 2 pri povećanju od 50x	42
Slika 53. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 2 pri povećanju od 100x	43
Slika 54. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 2 pri povećanju od 200x	43
Slika 55. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 2 pri povećanju od 500x	44
Slika 56. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 1 pri povećanju od 50x.....	44
Slika 57. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 1 pri povećanju od 100x	44
Slika 58. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 1 pri povećanju od 200x	45
Slika 59. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 1 pri povećanju od 500x	46
Slika 60. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 2 pri povećanju od 50x	46
Slika 61. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 2 pri povećanju od 100x	47
Slika 62. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 2 pri povećanju od 200x	47
Slika 63. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 2 pri povećanju od 500x	48
Slika 64. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 1 pri povećanju od 50x.....	49
Slika 65. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 1 pri povećanju od 100x.....	49
Slika 66. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 1 pri povećanju od 200x.....	50
Slika 67. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 1 pri povećanju od 500x.....	50
Slika 68. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 2 pri povećanju od 50x.....	51
Slika 69. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 2 pri povećanju od 100x.....	51
Slika 70. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 2 pri povećanju od 200x.....	52
Slika 71. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 2 pri povećanju od 500x.....	52
Slika 72. Skica penetratora i otiska kod Vickersove metode [27].....	53
Slika 73. Tvrdomjer PMT 3	53
Slika 74. Stereo mikroskop LEICA MZ6.....	54
Slika 75. Snimak tragova trošenja kočionog diska 1 pri povećanju od 10x.....	55
Slika 76. Snimak tragova trošenja kočionog diska 1 pri povećanju od 25x.....	55
Slika 77. Snimak tragova trošenja kočionog diska 1 pri povećanju od 50x.....	56
Slika 78. Snimak tragova trošenja kočionog diska 2 pri povećanju od 10x.....	56
Slika 79. Snimak tragova trošenja kočionog diska 2 pri povećanju od 25x.....	57
Slika 80. Snimak tragova trošenja kočionog diska 2 pri povećanju od 50x.....	57
Slika 81. Snimak tragova trošenja kočione obloge 1 pri povećanju od 10x	58
Slika 82. Snimak tragova trošenja kočione obloge 1 pri povećanju od 25x	58
Slika 83. Snimak tragova trošenja kočione obloge 1 pri povećanju od 50x	59
Slika 84. Snimak tragova trošenja kočione obloge 2 pri povećanju od 10x	59
Slika 85. Snimak tragova trošenja kočione obloge 2 pri povećanju od 25x	60
Slika 86. Snimak tragova trošenja kočione obloge 2 pri povećanju od 50x	60
Slika 87. Debljina vanjskog ruba kočione obloge 1	61
Slika 88. Debljina kočione obloge 1 u sredini	61
Slika 89. Debljina unutarnjeg ruba kočione obloge 1	61
Slika 90. Debljina vanjskog ruba kočione obloge 2.....	62
Slika 91. Debljina kočione obloge 2 u sredini	62
Slika 92. Debljina unutarnjeg ruba kočione obloge 2	62

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti i nedostaci disk kočnica u odnosu na bubanj kočnice [3]	6
Tablica 2. Kriteriji izmjene za Audi A4 [16]	21
Tablica 3. Kriteriji izmjene za BMW serije 5 [16].....	22
Tablica 4. Kriteriji izmjene za BMW serije 3 [16].....	22
Tablica 5. Kriteriji izmjene za Mercedes-Benz M-Class [16].....	23
Tablica 6. Kriteriji izmjene za Volkswagen Passat [16]	23
Tablica 7. Kriteriji izmjene za Renault Twingo II [16].....	24
Tablica 8. Kriteriji izmjene za Opel Astru [16].....	24
Tablica 9. Kriteriji izmjene za Daciu Logan [16]	25
Tablica 10. Kriteriji izmjene za Audi Q7 [16]	25
Tablica 11. Kriteriji izmjene za Peugeot 208 [16]	26
Tablica 12. Analiza kemijskog sastava kočionog diska 1 na lokaciji 1	30
Tablica 13. Analiza kemijskog sastava kočionog diska 1 na lokaciji 2	31
Tablica 14. Analiza kemijskog sastava kočionog diska 2 na lokaciji 1	32
Tablica 15. Analiza kemijskog sastava kočionog diska 2 na lokaciji 2	32
Tablica 16. Analiza kemijskog sastava kočione obloge 1 na lokaciji 1	33
Tablica 17. Analiza kemijskog sastava kočione obloge 1 na lokaciji 2	34
Tablica 18. Analiza kemijskog sastava kočione obloge 2 na lokaciji 1	35
Tablica 19. Analiza kemijskog sastava kočione obloge 2 na lokaciji 2	35
Tablica 20. Parametri postupka brušenja	37
Tablica 21. Parametri postupka brušenja	38
Tablica 22. Prikaz mjerenja tvrdoće uzoraka kočionih diskova.....	54

POPIS OZNAKA

a	usporenje vozila [m^2/s]
A	površina grafitnog listića [μm^2]
A_k	površina klipa [mm^2]
d_1, d_2	duljina dijagonala kvadrata kod metode po Vickersu [μm]
ΔF	razlika u silama kočenja kotača pojedine osovine [N]
F_a	sila aktiviranja disk kočnice [N]
F_k	kočna sila [N]
F_{kpd}	sila kočenja na prednjem desnom kotaču [N]
F_{kpl}	sila kočenja na prednjem lijevom kotaču [N]
F_{ksd}	sila kočenja na stražnjem desnom kotaču [N]
F_{ksl}	sila kočenja na stražnjem lijevom kotaču [N]
F_R	reaktivna sila [N]
HV0,2	tvrdoća po Vickersu pri sili od 2N
L	stvarna duljina grafitnog listića [μm]
M_k	moment kočenja na disku [Nm]
M_R	reaktivni kočni moment [Nm]
p	pritisak između diska i disk pločice [Pa]
p_u	tlak tekućine u kočnom cilindru [Pa]
P	opseg grafitnog listića [μm]
r_1	vanjski radijus kočione pločice [mm]
r_2	unutarnji radijus kočione pločice [mm]
t_p	projektirana trajnost [h]
ΔV_g	granično istrošenje [mm^3]
X	primarna os grafitnog listića sivog lijeva
Y	sekundarna os grafitnog listića sivog lijeva
z	koeficijent kočenja

α	obuhvatni kut [rad]
μ	koeficijent između diska i disk pločice

SAŽETAK

Kočnice služe za usporavanje kretanja vozila ili za potpuno zaustavljanje. U današnje vrijeme, disk kočnice se najviše primjenjuju u kočionom sustavu. U tom slučaju, smanjenje brzine motornog vozila ostvaruje se trenjem između kočione obloge i kočionog diska. Danas postoje različiti tipovi kočionih diskova i obloga koji se proizvode u automobilskoj industriji. Ovaj rad daje pregled materijala koji se koriste za izradu takvih kočnica. Da bi se poboljšala funkcija ovog tribosustava, važno je razvijati odgovarajuće kompatibilne materijale.

Ključne riječi: trošenje, kočioni disk, kočiona obloga, sivi lijev

SUMMARY

The brakes are used to slow the movement of the vehicle or to stop it completely. Nowadays, the disc brakes are the most used in braking system. In this case, the deceleration of motor vehicle is achieved by friction between the brake pads and the brake disc. Today, there are several types of brake discs and pads which are produced in the car industry. This paper provides a review of the materials used in this manufacture. In order to improve the function of this tribo system, it is important to develop the appropriate combinations of materials.

Key words: wear, braking disc, braking pad, gray iron

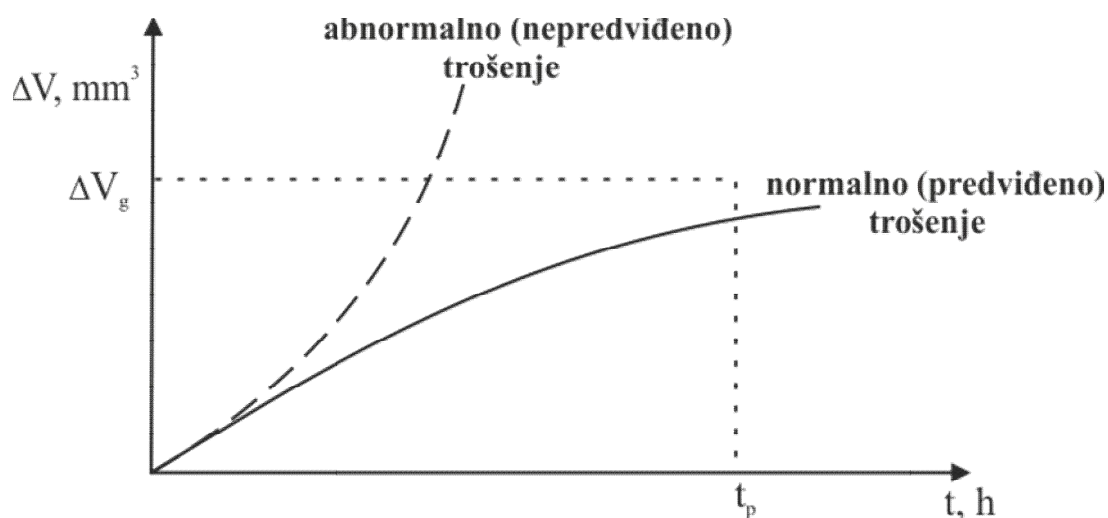
1. Uvod

1.1. Tribologija

Tribologija istražuje i opisuje procese trenja i trošenja te podmazivanja i primjenjuje stečena znanja u optimalizaciji triboloških sustava. Tribologija je složeno interdisciplinarno područje čije se istraživanje i opisivanje, zbog složenosti triboloških procesa, odvija uz brojne poteškoće. [1]

Kada se površine strojarskih elemenata dodirnu i počnu uzajamno gibati neizbježno se javlja trenje i trošenje. Ako bi se nekako eliminiralo trenje i trošenje, značajno bi se smanjili utrošci energije potrebne za rad strojarskih sustava i značajno produljio vijek trajanja strojarskih elemenata. Međutim, bez trenja se suvremena vozila ne bi mogla pokrenuti (npr. kontakt pneumatika i podloge), a kada bi se nekako pokrenula ne bi se mogla zaustaviti (npr. disk kočnice). Trenje u pravilu prate štetni gubici energije, ali kod kočnica trenje je korisno – njime se namjerno sustavu oduzima mehanička energija koja se konvertira u toplinsku energiju. Bez trošenja ne bi mogli pisati olovkom po papiru niti kredom po ploči. Prema tome, funkcije ciljeva optimalizacije triboloških sustava su različiti, od minimuma do maksimuma trenja i/ili trošenja. [1]

Svaki proces trošenja sastoji se od dva mehanizma trošenja ili više njih, koji djeluju istodobno ili u vremenskom slijedu, ovisno o vrsti tribosustava, relativnom gibanju i radnim uvjetima. Cilj tribologije je da primjenom odgovarajućih triboloških mjera postigne da određeni tribosustav funkcionira pretežno u režimu tzv. **normalnog trošenja**. [2]



Slika 1. Opći oblik procesa trošenja [2]

1.2. Kočne karakteristike vozila

Kočnice vozila služe za usporavanje i zaustavljanje vozila na siguran način te zadržavanje vozila kod mirovanja. Stoga kočnice utječu na sigurnost kretanja. Efikasne i pouzdane kočnice omogućavaju sigurno zaustavljanje vozila. Promjena intenziteta usporenja i ubrzanja utječu na srednju brzinu kretanja vozila. Zbog toga su kočne karakteristike dio ukupnih dinamičkih svojstava vozila. [3]

Kočne karakteristike vozila ocjenjuju se uz pomoć parametara: sile kočenja, usporenja vozila, vremena kočenja i puta kočenja, odnosno vremena i puta zaustavljanja. Kod parametara kočenja polazi se najprije od teorijskih postavki koje vrijede za idealne uvjete kočenja, a dopunjavaju se stvarnim parametrima kočenja na temelju ispitivanja. [3]

1.3. Parametri kočenja

Od suvremenih uređaja za kočenje zahtijeva se:

- visoka učinkovitost djelovanja,
- potpuni energetska kapacitet,
- stabilnost i upravljivost vozila,
- visoka pouzdanost i
- pogodnost za održavanje.

Visoka učinkovitost kočnog uređaja ocjenjuje se parametrima kočenja. Energetski kapacitet kočnog sustava omogućuje višekratno i trajno kočenje vozila, bez pojave pregrijavanja ili promjene kočnih karakteristika. Stabilnost vozila pri kočenju osigurava se podešavanjem kočnih momenata na svakom kočionom kotaču i sprečavanjem njihova blokiranja. Danas su takvi kontrolni uređaji postali dio standardne opreme svih putničkih vozila. Pouzdanost kočnog uređaja je vjerojatnost da će uređaj funkcionirati ispravno u određenim uvjetima. Pogodnost za održavanje jest također vjerojatnost da će sustav za kočenje biti popravljen i doveden u ispravno stanje u određenim uvjetima održavanja. [3]

Postoji čitav niz kočionih parametara kojima se definira učinkovitost aktivne sigurnosti kretanja. S obzirom na postupnost, ovdje se daju najprije teoretski, a zatim stvarni parametri kočenja:

- teoretski parametri kočenja:
 - kočna sila (sila kočenja)
 - usporenje vozila
 - vrijeme kočenja
 - put kočenja
 - snaga kočenja
- stvarni parametri kočenja:
 - vrijeme zaustavljanja
 - put zaustavljanja
 - izmjerene kočne sile
 - usporenje vozila. [3]

1.4. Valjci za ispitivanje kočnica

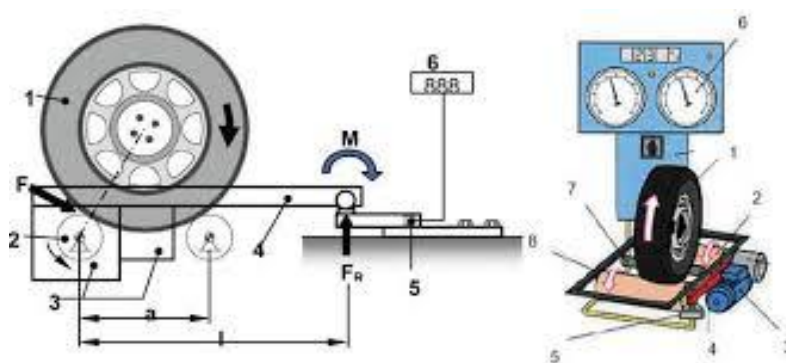
Na tehničkim pregledima vozila obvezno je ispitivanje kočne sile na valjcima za ispitivanje kočnica. Svrha takve stacionarne kontrole jest provjera ispravnosti uređaja za kočenje (kao zakonske obveze), s osnovnim ciljem utvrđivanja aktivne sigurnosti svakog motornog vozila koje sudjeluje u prometu na cestama. Uređaj za kontrolu kočnica na valjcima sastoji se od dva para valjaka. Svaki par valjaka ima svoj pogon i mjerni lanac. Postavljeni su tako da istodobno mjere sile kočenja obaju kotača na jednoj osovini. [3]



Slika 2. Ispitivanje kočnica na valjcima za tehnički pregled [4]

Na valjcima za ispitivanje kočnica može se ispitati:

- otpor kotrljanja kotača
- kočna sila na svakom kotaču
- nejednolikost sile kočenja na svakom kotaču. [3]



Slika 3. Shema valjaka za ispitivanje kočnica [3]

1 – kotač, 2 – pogonski valjak, 3 – elekromotor s reduktorom, 4 – poluga reaktivnog momenta, 5 – mjerni senzor, 6 – indikator, 7 – signalni valjak, 8 – okvir
 F_k – kočna sila, F_R – reaktivna sila, M_R – reaktivni kočni moment

Prilikom kontrole kočnica nadzornik navozi vozilo na uređaj za ispitivanje kočnica vozila, mjeri kočnu silu radne kočnice na svakoj osovini te kočnu silu pomoćne (ručne) kočnice. Pri tome utvrđuje koeficijente kočenja ovisno o vrsti vozila i razliku sila kočenja između lijevog i desnog kotača. Neznatna razlika sila kočenja između lijevog i desnog kotača prednje i stražnje osovine omogućava pravocrtno kretanje vozila pri kočenju. Stoga je utvrđivanje razlike između sile kočenja lijevog i desnog kotača važnije od izračunavanja koeficijenta kočenja. Svako odstupanje od propisanih vrijednosti znači da vozilo nije ispravno za promet. [3]

Kada vozilo kotačima nagazi na valjke, aktivira se signalni valjak koji automatski uključuje uređaj za ispitivanje i zaštitu od blokiranja. Elektromotor pokreće valjke koji okreću kotače (prednje ili stražnje osovine) konstantnom obodnom brzinom (2,5 km/h). Pri ispitivanju, tako dugo dok se ne pritisne papučica za kočenje, indikator pokazuje samo otpor kotrljanja kotača. Pritiskom na papučicu kočnice počinje kočenje kotača uz njegovo kotrljanje. Koči se do granice klizanja kotača, kada nastupa parcijalno proklizavanje između kotača i valjaka prije blokiranja. Računalo valjka neprekidno uspoređuje brzinu vrtnje valjaka i brzinu vrtnje signalnog valjka koji predstavlja brzinu vrtnje kotača. Kada dođe do velike (unaprijed zadane) razlike između tih dviju brzina, računalo zaustavlja valjke. Na indikatoru se prikazuje maksimalna kočna sila u trenutku isključenja. Kočna sila F_k zapravo se mjeri kontrolom reaktivnog momenta M_R jer se uz pomoć poluge premješta moment kočenja na mjerni senzor savijanja grede (tenzometar). Generirani signali senzora vode do indikatora na kojem se može očitati kočna sila na obodu kotača. [3]

Kočenjem vozila na valjcima mjeri se otpor pogonskog valjka, odnosno kočne sile na svakom kotaču, što daje ukupnu silu kočenja:

$$\sum F_k = F_k = F_{kpl} + F_{kpd} + F_{ksl} + F_{ksd}$$

F_{kpl} = sila kočenja na prednjem lijevom kotaču

F_{kpd} = sila kočenja na prednjem desnom kotaču

F_{ksl} = sila kočenja na stražnjem lijevom kotaču

F_{ksd} = sila kočenja na stražnjem desnom kotaču

Nakon toga može se izračunati koeficijent kočenja z , razlika u silama kočenja kotača pojedine osovine ΔF te koliko bi bilo usporenje vozila a . [3]

Koeficijent kočenja ne predstavlja realnu kočnu sposobnost ispitivanog vozila. U realnim uvjetima kočenja na cesti vozila mogu postići i veća usporenja odnosno sile kočenja. Najveća sila kočenja koja se može postići na valjcima direktno je ovisna o koeficijentu adhezije između valjka i pneumatika. Ako bi se jedno vozilo testiralo na dva različita valjka, s različitim koeficijentima adhezije, dobile bi se različite sile kočenja, a time i koeficijenti kočenja. [3]

Dakle, na tehničkim pregledima ne promatra se realan odnos sila kočenja među osovinama, nego se u izračunu koeficijenta kočenja uvijek uzimaju najveće postignute sile kočenja, bez obzira kojom silom se djeluje na papučicu kočnice, do najveće propisane sile na papučicu (500 N). Naravno, i sve izračunate vrijednosti koeficijenta i razlike sila kočenja između lijevog i desnog kotača moraju biti unutar propisanih granica. U suprotnom vozilo će tehnički biti neispravno. [3]

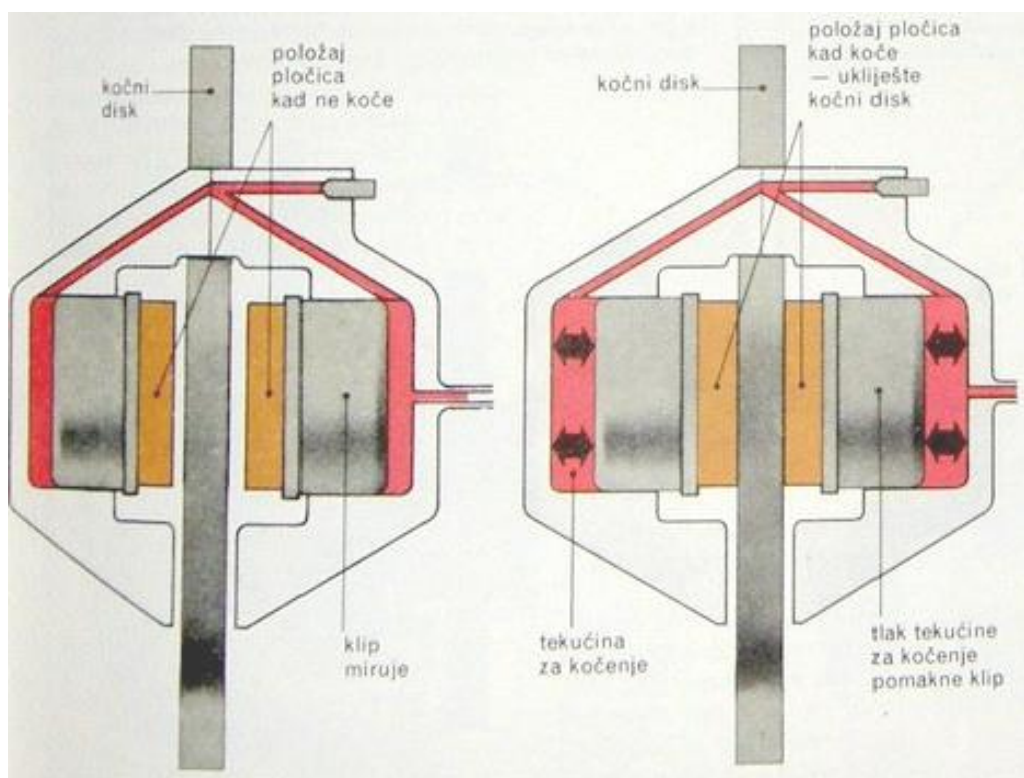
2. Disk kočnice

Osnovne komponente disk kočnice su:

- kočni disk
- kliješta (sedlo, čeljusti)
- kočni cilindar s klipom
- disk pločice (kočne pločice)
- nosač.

Kočni disk učvršćen je za glavinu kotača s kojom se okreće, dok sedlo (kliješta) miruje i čvrsto je povezano s podvozjem. Disk je izrađen od željeznog lijeva ili čelika. U sedlu se nalaze kočni cilindri i klipovi koji pritišću kočne pločice uz kočni disk izazivajući trenje i kočenje vozila. [3]

Diskovi se okreću u struji zraka i tako odvođenjem topline hlade. Dobro hlađenje jedan je od glavnih prednosti disk kočnica u odnosu na bubanj kočnice, ali ponekad ni to nije dovoljno da izdrži velika termička opterećenja. Stoga je potrebno dodatno hlađenje diskova. Veću površinu za hlađenje imaju samoventilirajući diskovi s radijalnim kanalima te rebrasti diskovi. Kroz međuprostore između kanala i rebara zrak može vrlo brzo strujati. Zato se takvi kočni diskovi hlade znatno bolje nego puni diskovi. [3]



Slika 4. Shema rada disk kočnice [5]

Kada papučica kočnice miruje, kočni disk i kočne pločice se ne dodiruju nego je između njih zračnost tolika da se gotovo dodiruju. Kad se pritisne papučica kočnice, tlak tekućine za kočenje pritisne klipove, a time i kočne pločice uz kočni disk. Trenje pločica o disk zaustavlja vozilo. [5]

2.1. Obilježja disk kočnica

U tablici 1. navedene su prednosti i nedostaci disk kočnica u odnosu na bubanj kočnice.

Tablica 1. Prednosti i nedostaci disk kočnica u odnosu na bubanj kočnice [3]

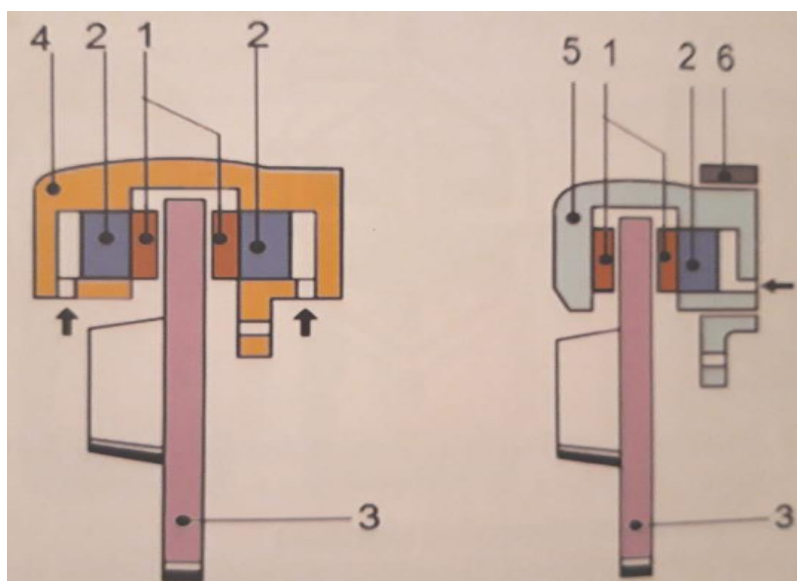
PREDNOSTI	NEDOSTACI
Efikasnost disk kočenja je jednaka u oba smjera okretanja	Visoka toplinska opterećenja pločica
Dobro hlađenje frikcijskih površina diska	Brže trošenje kočnih pločica
Manji zazor, kraća reakcija kočnice i automatsko podešavanje zazora	
Dobro samočišćenje od blata i vode	

2.2. Zagrijavanje disk kočnica

Prednji diskovi i disk pločice izloženi su velikim mehaničkim, dinamičkim i toplinskim opterećenjima. Na prednje kočnice odvaja se oko 70% ukupne sile kočenja, a na stražnje kotače oko 30%. Iz toga razloga su prednje disk kočnice jače dimenzionirane. Intenzivno kočenje pri velikim brzinama vozila uzrokuje visoke temperature na diskovima (npr. pri brzini od 130 km/h – 300°C, 180 km/h – 500°C, kod uzastopnog kočenja – 800°C). Intenzivna termička opterećenja izazivaju trajne promjene na disku kočnice, a to su nejednako istrošene kočne površine i deformacije samog diska. Takva deformacija diska uzrokuje vibracije papučice kočnice, kotača i upravljačkog mehanizma. [3]

2.3. Vrste disk kočnica s obzirom na kliješta (sedlo)

Na slici 5. prikazana je razlika između disk kočnica s nepokretnim i pokretnim kliještima.

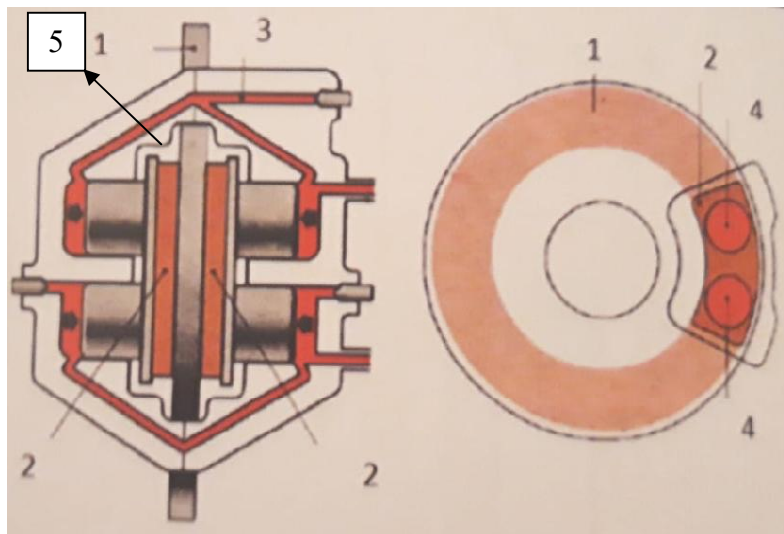


Slika 5. Disk kočnice s nepokretnim kliještima i pokretnim (plivajućim) kliještima [6]

1 – disk pločice, 2 – klip, 3 – kočni disk, 4 – nepokretna kliješta, 5 – plivajuća kliješta, 6 – nosač

2.3.1. Disk kočnica s nepokretnim kliještima

Disk kočnica s nepokretnim kliještima sastoji se od kućišta i nosača kočnog cilindra koji kao kliješta obuhvaćaju kočni disk. U svakom kućištu nalaze se 2 do 4 kočna cilindra. Cilindri s klipovima postavljeni su jedan nasuprot drugome te su spojeni kanalima i brtvenim prstenom, zaštitnim poklopcem i steznim prstenom. Na gornjoj strani kućišta postavljen je odzračni ventil. Pri kočenju klipovi cilindara potiskuju kočne pločice prema disku. Distantna opruga sprečava njihovo lepršanje i udaranje te vraćanje klipova u početni položaj. Gornji par klipova radi neovisno o donjem paru klipova. Kad se ugrađuju 4 klipa, kočne pločice mogu biti veće, čime se može povećati djelotvornost kočenja. [3]



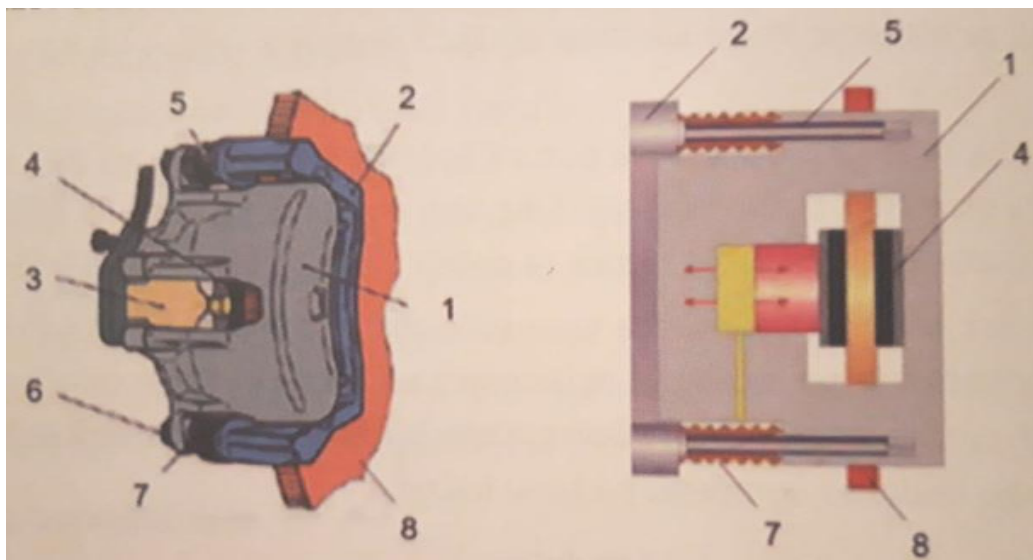
Slika 6. Disk kočnica s nepokretnim kliještima (2+2 klipa) [3]

1 – disk, 2 – disk pločice, 3 – dovod ulja, 4 – klipovi, 5 – razuporna opruga

2.3.2. Disk kočnica s pokretnim (plivajućim) kliještima

Sastoji se od dvaju osnovnih dijelova, nosača (držača) i kliješta. Ovdje klip neposredno pritišće samo jednu pločicu, dok kliješta na temelju sila reakcije potiskuju drugu pločicu. Nosač koji vodi kliješta učvršćen je na ovjes kotača. Karakteristike ovih disk kočnica jesu: male dimenzije i mala masa, dobro odvođenje topline, lakše rastavljanje kočnih pločica, smanjena pojava parnih mjehurića (1 ili 2 cilindra na strani pločica) te neosjetljivost na čistoću. [6]

Slika ispod prikazuje dvije klizne vodilice koje omogućuju pokretanja kliješta na nosaču. Najprije klip potiskuje unutarnju disk pločicu na disk. Na temelju reakcije, istodobno se kliješta potiskuju u suprotnu stranu tako da i vanjska disk pločica naliježe na disk. [6]

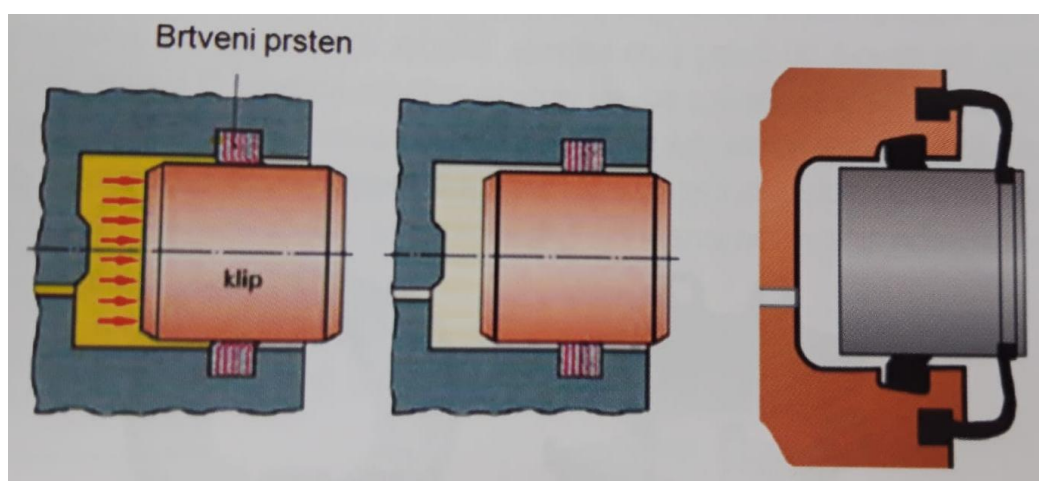


Slika 7. Disk kočnica s pokretnim klješćima [6]

1 – klješća (sedlo), 2 – nosač, 3 – razuporna opruga, 4 – disk pločica, 5 – vodilica, 6 – vijak, 7 – zaštitna manžeta, 8 – disk

2.4. Zračnost između diskova i pločica

Za podešavanje zračnosti disk kočnica služi brtveni prsten (slika 8.). Brtveni prsten smješten je u utoru cilindra i nasjeda na klip. Gibanjem klipa gumeni prsten se elastično deformira pa pri popuštanju papučice kočnice i prestanku kočenja poput opruge vraća klip u početni položaj. Karakteristika brtvenog prstena jest bočna krutost čija sila vraća klip. Put vraćanja klipa određuje zračnost pločica i diska koji iznosi 0,15 mm, što je dovoljno za slobodan hod diska. Trošenjem obloga pločica zračnost se povećava, a klip ima duži put. Pritom klip prokliže kroz prsten i poništi veću zračnost. Tako se ostvaruje automatsko podešavanje disk kočnice. Dakle, prestankom kočenja, gumeni prsten vraća klip natrag i osigurava dovoljnu zračnost za slobodno okretanje diska, a vraćanje kočnih pločica osiguravaju razuporne opruge. [6]



Slika 8. Regulacija zazora uz pomoć brtvenog prstena [6]

3. Kočioni disk

Disk je ključni dio kočionog sustava i smješten je uz glavinu kotača. Rotacija kotača se usporava trenjem proizvedenim pritiskom disk pločica na disk. Kočni se disk izrađuje od sivog lijeva, odnosno keramičkih – kompozitnih materijala (keramika armirana ugljičnim vlaknima), pune debljine 10 – 12 mm ili oko 20 mm kod ventilirajućeg (samoventilirajućeg) diska. Dopuštena temperatura frikcijskog para iznosi 400 – 500°C . Neki diskovi imaju provrte i ovalne utore za brzi odvod vode, a kod nekih se koriste diskovi s radijalnim kanalima za hlađenje. [6]

Vrste kočnih diskova:

- puni diskovi
- samoventilirajući
- keramički. [6]

3.1. Ventilirajući kočni diskovi

Ventilirajući (samoventilirajući) diskovi izvide se s radijalnim kanalima. Disk radi kao centrifugalni radijalni ventilator te tako brzo odvodi toplinu. Radi intenzivnog hlađenja diska izvide se poprečni provrti. Na nekim diskovima izvide se kontinuirani žljebovi za odvodnju vlage (vode) koja se skuplja na disku. Na taj se način direktno povećava djelotvornost kočnica jer čišćenje površine diska omogućuje bolje prianjanje disk pločice na disk. Rezultat svega je brža reakcija kočnica i smanjenje puta kočenja. Brzaj provjeri stanja diskova pridonose ugrađeni senzori istrošenosti disk pločica. [6]



Slika 9. Ventilirajući kočni disk [7]

3.2. Keramički diskovi

Trenjem između kočionih pločica i diska ostvaruje se moment kočenja na kotačima koji se u kontaktu s podlogom pretvara u kočnu silu i zaustavlja automobil. Kočnice pretvaraju kinetičku energiju automobila u toplinu te se kod intenzivnog i višestrukog kočenja diskovi zagrijevaju, ponekad i do temperature crvenog usijanja (više od 850°C). To su granične vrijednosti kada se znatno pogoršavaju mehanička svojstva diskova. Tada znatno padaju čvrstoća i tvrdoća te se ubrzava trošenje (brazdanje) diska. [8]

Još je gore što tada drastično opada koeficijent trenja i dolazi do kočionog “fadinga” (otkazivanja kočnica). Zbog toga je učinkovitost klasičnih kočnica ograničena i ne može se prekomjerno povećati pritisak i trenja između kočionih obloga i diskova. Stručnjaci vodećih svjetskih proizvođača automobila problem su riješili ugradnjom diskova od keramike. [8]



Slika 10. Keramički diskovi za Audi A8 [9]

Keramički diskovi mogu izdržati temperature do 1600°C, a istodobno su 70% lakši od klasičnih pa imaju manje momente inercije. Veća otpornost na visoke temperature omogućuje znatno povećanje pritiska između kočionih pločica i diskova što uz isti ili sličan koeficijent trenja jamči znatno veći moment kočenja. Time se omogućuje i znatno povećanje intenziteta kočenja bez opasnosti od kočionog “fadinga”. Lakši kočioni diskovi povećavaju dinamičku stabilnost automobila. [8]

3.2.1. Izrada keramičkih diskova

U prvoj se fazi izrađuju polovice diskova, od kompozitnog materijala, miješanjem ugljičnih vlakana s tekućim polimerom. Nakon otvrdnjavanja i lijepljenja nastaje “sirovi disk” koji se zagrijava na 1000°C. Tada čestice polimera isparavaju i na njihova se mjesta smještaju atomi ugljika. Proces traje i do deset sati te se postiže kompaktna i visokootporna struktura “spremna za najteže zadatke”. [8]



Slika 11. Izrada keramičkih diskova u kalupima [8]

Keramički se diskovi izrađuju u posebnim kalupima, u više faza, pri visokim temperaturama i tlakovima, što im osigurava učinkovitost i trajnost. [8]

Za “pretvaranje” ugljično – kompozitnih diskova u tzv. keramičke, potreban je postupak siliciranja. Pri temperaturi od 1420°C , kompozitni se diskovi, ojačani ugljikom, uranjaju u tekući silicij te ga upijaju poput spužve. Nastaje iznimno tvrd i otporan silicijev karbid koji se, po mehaničkim svojstvima, približava dijamantu. [8]

Postojanost geometrije (hrapavosti) površine jamči povećanje koeficijenta trenja. Time se također omogućuje znatno povećanje intenziteta kočenja bez opasnosti od kočionog “fadinga”. Kako bi se dodatno poboljšala učinkovitost kočenja, u sredini diska ugrađeni su žljebovi u obliku evolventnih zavojnica (kao kod zupčanika). Tako se pri vrtnji diskova ostvaruje efekt ventilatora koji usisava svjež zrak u središte diska te ga izbacuje kroz rupice na ploham diskova. Bolje i temeljitije hlađenje povećava učinkovitost kočnica i kočenja, posebice kod velikih brzina kad su diskovi izloženi prekomjernom zagrijavanju. [8]

Pri brzini od 100 km/h, cestovni bolidi mogu se zaustaviti u samo 30 metara, što je za 10% kraće u usporedbi s najboljim klasičnim diskovima. Na tijelu vozača javljaju se sile koje su za 50% veće od težine tijela. Ne treba ni spominjati koliko je to važno za sigurnost vožnje jer metri zaustavnog puta često prave razliku između sreće i nesreće. Usprkos znatno intenzivnijeg kočenja, keramički diskovi imaju neusporedivo veću trajnost i osiguravaju ravnomjernije kočenje. To posebice vrijedi kod kočenja pri brzinama većim od 200 km/h. Dugotrajni su testovi pokazali kako se može očekivati i “životni vijek” i preko 300 000 km što ide u prilog poboljšanju i olakšavanju održavanja automobila. [8]

Keramički su diskovi znatno otporniji na visoke temperature, no imaju i znatno bolja svojstva na niskim temperaturama. Klasični diskovi, dok su hladni, imaju znatno lošiji intenzitet kočenja što može biti vrlo neugodno i opasno. Keramički diskovi reagiraju znatno brže,

posebice u kritičnim situacijama kad se kočnice aktiviraju nakon dugotrajne vožnje bez kočenja (tada se diskovi potpuno ohlade). [8]

Osim otpornosti na visoke temperature, kočna sila kod hladnih keramičkih kočnica za više od 25% veća je nego kod hladnih klasičnih disk – kočnica. Time se ne iscrpljuju prednosti manje mase keramičkih diskova. Nakon dokazivanja u ultrasportskim serijskim automobilima, keramičke će se kočnice zasigurno proširiti i na “obične” automobile. No, tehnologija ove vrste diskova nije nimalo jeftina. Treba računati s povećanjem cijene i za više od 3000 eura po automobilu što je prihvatljivo samo za najskuplje automobile. [8]



Slika 12. Keramički diskovi u primjeni kod brzih automobila marke Ferrari [8]

3.3. Sivi lijev – najčešći materijal u proizvodnji disk kočnica

3.3.1. Kemijski sastav i mikrostruktura sivog lijeva

Sivi lijev je Fe-C legura s više od 2% C koja je stabilno kristalizirana. Stabilna kristalizacija moguća je samo uz vrlo sporo hlađenje. Obično se ovoj leguri dodaje silicij koji forsira grafitizaciju. [10]

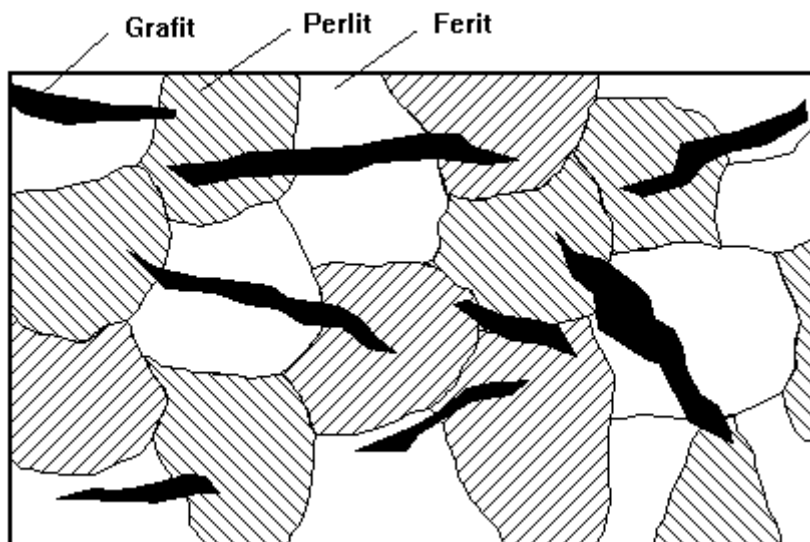
Kemijski sastav:

- 2,0 – 4,5% C
- 0,5 – 3,5% Si
- do 1,3% Mn
- do 1% P
- 0,06 – 0,15% S.

Uobičajeno se dodaju legirni elementi kako bi se postigla visoka čvrstoća s visokim ekvivalentom ugljika. Gotovo svi legirni elementi povećavaju vlačnu čvrstoću i žilavost, dok su kod sivih lijevova najučinkovitiji Mn, V, Mo, Cr i Cu. Mangan pogoduje oblikovanju

perlitne faze i povisuje čvrstoću i žilavost. Vanadij također potiče proces oblikovanja perlitne faze. Molibden povisuje čvrstoću u uvjetima puzanja, korozije te visoke temperature. Krom povećava otpornost na koroziju i abraziju, dok je bakar predstavnik jakog stabilizatora perlitne faze. [10]

Mikrostruktura sivog lijeva je dvojna i sastoji se od: nakupina listića grafita i željezne osnove koja je feritna, perlitna ili feritno-perlitna, a uz to se može pojaviti i slobodni cementit. [10]



Slika 13. Prikaz strukture sivog lijeva sa izlučenim grafitom u obliku listića – shematski prikaz feritno-perlitne mikrostrukture matrice [11]

Stupanj difuzije je viši kod feritne faze nego kod perlitne. Na temelju toga bi se moglo zaključiti kako je najbolja varijanta proizvodnje disk kočnica od sivog lijeva kojem se mikrostruktura sastoji od duljih grafitnih listića i željezne osnove koja je feritna. No, ta tvrdnja ne bi bila istinita jer vrsta matrice u maloj mjeri utječe na stupanj difuzije, a disk u eksploataciji mora imati zadovoljavajuću otpornost na trošenje. Upravo radi toga većinu disk kočnica korištenih osobnih automobila čine sivi lijevovi sa mikrostrukturom grafitnih listića i perlitne matrice. [10]

3.3.2. Fizikalna svojstva sivog lijeva

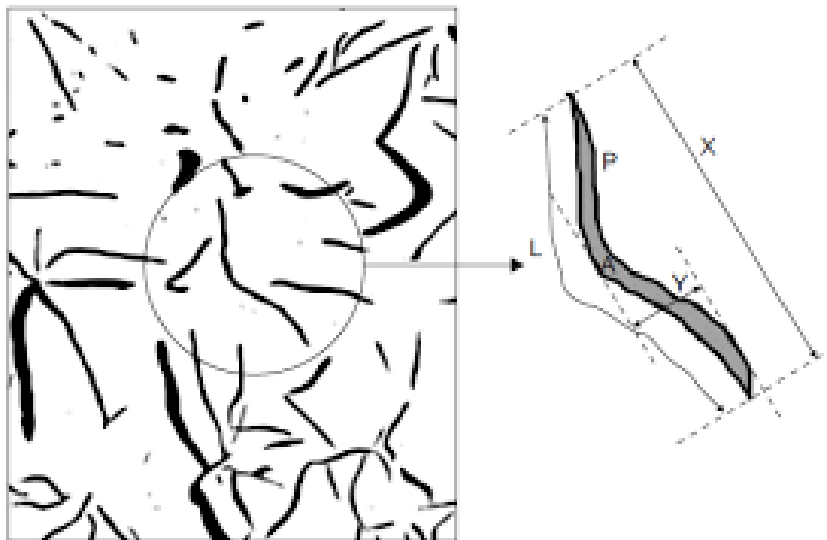
Ovu vrstu lijeva, osim niskih troškova proizvodnje, karakterizira odlična toplinska provodljivost što doprinosi raspršivanju toplinske energije proizvedene uslijed trenja u tribosustavu kočioni disk – pločica. Jedna od primarnih karakteristika je i sposobnost prigušenja vibracija diskova od sivog lijeva. [10]

Sposobnost prijenosa topline može se poboljšati povećanjem toplinske difuzije. Ona se koristi kako bi se procijenila toplinska provodljivost, odnosno pomoću nje se može izmjeriti koliko dobro materijal izmjenjuje toplinu. Disk kočnice s poboljšanom toplinskom provodljivošću imaju i visoku dinamičku izdržljivost te im se time radni vijek produljuje. [10]

Glavni faktori koji utječu na prijenos topline u sivom lijevu su raspodjela, veličina i morfologija grafita jer grafit ima puno veću toplinsku provodljivost nego matrica. Toplinska

provodljivost sivog lijeva je proporcionalna omjeru između površine i volumena. Zbog toga će sivi lijevovi sa kuglastim grafitom lošije provoditi toplinu nego listićasti grafiti. [10]

Znajući kako morfologija grafita utječe na prijenos topline, moguće je analizirati kako promjene tijekom procesa lijevanja disk kočnica mogu promijeniti njihove performanse. Danas postoje računalni programi s kojima je moguće izmjeriti morfološke parametre grafitnih listića tako da se analiziraju 2D prikazi (slika 14.). Također je poznato da što je listić dulji, veći je stupanj difuzije i provodljivosti. [10]



Slika 14. Shematski prikaz parametara koji definiraju morfologiju grafitnih listića [10]

P – opseg, A – površina, L – stvarna duljina, X – primarna os, Y – sekundarna os

4. Disk pločice (kočne pločice)

Disk pločice su najopterećeniji dijelovi kočionog sustava i zato se najbrže troše. Izložene su mehaničkom (dinamičkom) i toplinskom opterećenju. Troše se na dva načina:

- trošenjem frikcijskog materijala (postaju tanje) i
- toplinski.

Toplinsko trošenje izaziva strukturnu promjenu frikcijskog materijala, a posljedica je smanjenje faktora trenja, što dovodi do dužeg zaustavnog puta vozila. Zbog visokih temperatura može doći i do deformacije metalnog dijela disk pločice što ima za posljedicu pojavu vibracija prilikom kočenja. [3]

Disk pločica radi u ekstremnim uvjetima, o njoj ovisi aktivna sigurnost vozila i zato vrijedi preporuka da se uvijek koriste atestirane disk pločice sa znakom kvalitete. Pločice se izrađuju od kompozitnog, ekološki prihvatljivog materijala, bez azbesta i bez teških metala. [3]



Slika 15. Primjer nove i potrošene disk pločice

Materijal kočnih obloga mora stvoriti veliko trenje i spriječiti zaribavanje. Kod disk kočnica obloge se lijepe na čelični nosač. Materijal obloga mora imati sljedeća svojstva:

- visoku mehaničku čvrstoću, trajnost i otpornost na visoke temperature,
- konstantan faktor trenja pri visokim temperaturama i velikim brzinama vrtnje,
- neosjetljivost na vodu i nečistoće,
- ne smije otvrdnuti pri visokim toplinskim opterećenjima. [12]

Najčešće se koriste organske obloge, a za najteže uvjete i sintermetalne. Kao primjer organske obloge sadrže:

- metale: čeličnu vunu (20%), bakreni prah (16%),
- punila: željezni oksid (10%), barit (9,5%), tinjac (6,5%), aluminijum oksid (1,2%),
- klizne tvari: koksni prah (16%), antimontrisulfid (6%) i grafit (4%),
- organske tvari: smolasti prah (4%), aramidna vlakna (1,4%) i vezivo (5,4%).

Kočne obloge postoje su na temperaturama do 800°C, a faktor trenja im je oko 0,4. [12]

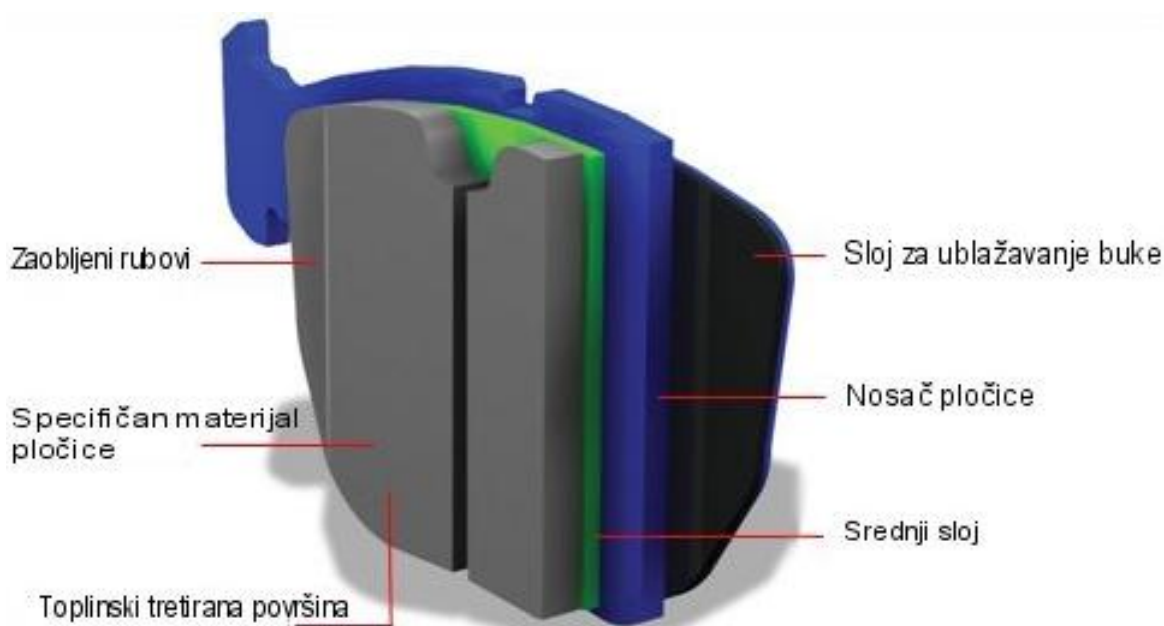
4.1. ATE keramičke disk pločice

ATE keramičke disk pločice su novost u auto-dijelovima, odnosno novost kada govorimo o primjeni keramičkih pločica na serijskim vozilima. ATE Continental, tvrtka koja je svjetski predvodnik u inovacijama kad je riječ o kočionom sustavu, prvi je predstavio zamjenske disk pločice koje u sustavu tarnog materijala primjenjuju keramiku. [13]

Keramika nije slučajan odabir jer je otprije poznato da se duže vrijeme koristi u moto-sportu kao materijal koji je prepoznat po izuzetno dobrom efektu kočenja uz minimalan pad svojstava kod naglog rasta temperature pri učestalom kočenju. Trenutno se u ponudi nalaze modeli pločica za česta europska vozila, a svakim danom ATE povećava paletu pločica u keramičkoj izvedbi. [13]

Ugradnja keramičkih pločica ne zahtijeva dodatne izmjene na serijskim komponentama kočionog sustava vozila. Prednosti ATE keramičkih disk pločica su:

- bolje kočenje pri učestalim kočenjima, smanjenje fading efekta,
- dugotrajnije od standardnih pločica,
- ne prljaju naplatke – posebno pogodno kod vozila s alu-naplatcima,
- ne zahtijevaju dodatne preinake pri ugradnji na serijska vozila,
- manja buka u odnosu na standardne pločice. [13]



Slika 16. Grafički prikaz ATE-ove tehnologije za smanjivanje buke prilikom kočenja [13]

4.2. Izmjena disk pločica

Izmjena disk pločica jedan je od češćih zahvata na automobilu jer je njihovo trošenje nužnost. Agresivni ih vozači mogu istrošiti u manje od 10 000 km, a prosjek je oko 50 000 km. Istrošene disk pločice neminovno izazivaju odgovarajuće trošenje, odnosno brazdanje diska. Prilikom izmjene, nove disk pločice u tom slučaju naliježu na neravnu površinu te u početku koče samo rubovima. To ima dvostruko loš učinak: smanjuje se intenzitet kočenja i ubrzava trošenje. Često je popraćeno cviljenjem i vibriranjem. [14]

Da bi se to spriječilo, ispravan je postupak ravnanja diskova tokarenjem prije ugradnje novih disk pločica. Time one potpuno nalegnu već pri prvom kočenju te se osigurava potpuna učinkovitost kočenja i trajnost. To treba napraviti na posebnom tokarskom stroju s dva noža koji istodobno poravnava, odnosno tokari obje strane diska. Prije tokarenja mjerenjem se procjenjuje mogu li se diskovi uopće dovesti u ispravno stanje kako se postupak ne bi provodio uzaludno. U protivnom ugrađuju se novi diskovi. [14]

Dozvoljeno je odstupanje širine diska 2 mm. Tako je, primjerice, prednji disk (samoventilirajući) Mazde 6 širine 25 mm, a smije biti potrošen do 23 mm. Stražnjemu (puni disk) se širina sa 10 može smanjiti na 8 mm. To nisu mjere na koje se smije istokariti disk jer nakon ugradnje treba ostati “mesa” (rezerve u širini) najmanje 0,8 mm. Dakle, prednji disk, nakon što se na tokarenim ploham uklone sve neravnine, treba zadržati minimalnu širinu od 23,8 mm, a stražnji od 8,8 mm. U protivnom treba ih baciti i ugraditi nove. [14]



Slika 17. Tokarenje diskova prilikom izmjene disk pločica [14]

4.3. Moment kočenja disk kočnica

Sila aktiviranja disk kočnice:

$$F_a = p_u A_k \quad [\text{N}]$$

p_u – tlak tekućine u kočnom cilindru

A_k – površina klipa.

Moment kočenja na disku:

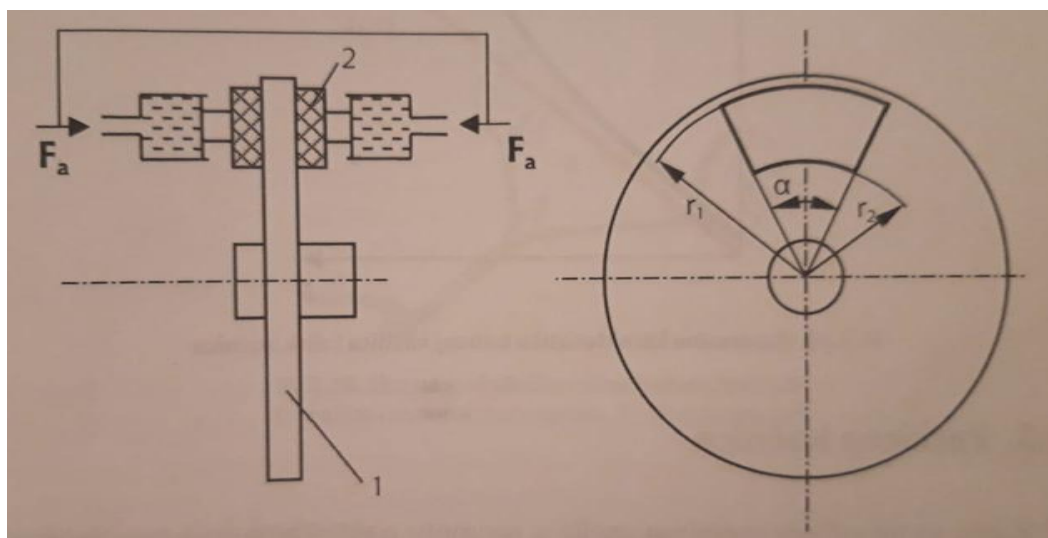
$$M_k = 2/3 [\alpha p \mu (r_1^3 - r_2^3)] \quad [\text{Nm}]$$

p – pritisak između diska i disk pločice (kod ekstremnog kočenja pritisak može dostići 10 MPa)

α – obuhvatni kut (rad)

μ – koeficijent trenja između diska i disk pločice (0,3 – 0,4)

r_1, r_2 – vanjski i unutarnji promjer površine disk pločica. [3]

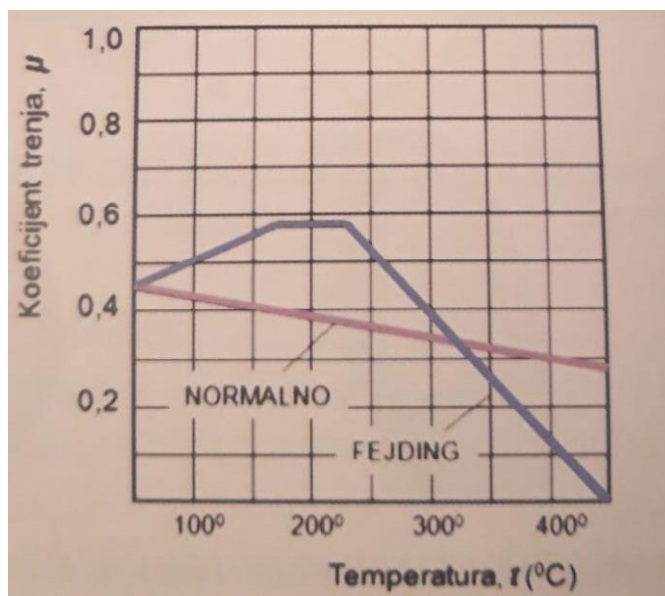


Slika 18. Površina djelovanja disk pločice [3]

1 – disk, 2 – kočiona pločica

5. Fading – otkazivanje kočnica

Fading (fejding) je pojava otkazivanja kočnica zbog pregrijavanja tarnih parova uslijed pojave visokih temperatura (oko 1000°C). Posljedica uzastopnog agresivnog kočenja izaziva taljenje površinskog sloja metala i obloga pa dolazi do naglog pada koeficijenta trenja i otkazivanja kočnica. Otpornost na fejding postiže se povećanjem hlađenja kočionih diskova. Teška vozila znatno su osjetljivija na fejding i stoga imaju pomoćne kočnice za usporavanje vozila na dugotrajnom kočenju. [3]



Slika 19. Promjena koeficijenta trenja pri kočenju (normalna promjena i fejdning) [6]

6. Kočiona tekućina

Od kočione se tekućine traže ova svojstva:

- visoka točka vrelišta (do 300°C),
- niska točka staništa (pri 65°C),
- konstantna viskoznost,
- kemijska neutralnost prema metalima i gumi,
- podmazivanje pokretnih dijelova u kočionom i radnom cilindru,
- mogućnost miješanja s usporednim kočionim tekućinama. [12]

Vrelište koje utvrđuju norme DOT-a (Department of Transportation – američko Ministarstvo prometa), dovoljno je visoko da bi se spriječilo stvaranje parnih mjehurića pri zagrijavanju koje nastaje kočenjem. Najniže vrelište za kočione tekućine su: DOT 3 205°C, DOT 4 230°C, DOT 5 260°C. [12]

Kočiona tekućina je iz poliglikolnih spojeva pa je higroskopna. Što je veći udio vlage to je niže vrelište, tzv. vlažno vrelište. Za DOT 3 kočionu tekućinu opasno vlažno vrelište nalazi se upravo na 140°C. Najveći dio vode upije se preko savitljivih kočnih cijevi. Kočiona tekućina tijekom dvije godine primi 3,5% vode i time postigne opasno vlažno vrelište. Toplina stvorena kočenjem uzrokuje pojavu parnih mjehurića koji ne mogu prenijeti kočni tlak – kočnice postaju neupotrebljive. Kočionu bi tekućinu trebalo izmijeniti najkasnije nakon dvije godine. [12]

Da bi se osiguralo neometano strujanje kočione tekućine kroz elektromagnetske ventile ABS-a i na niskim temperaturama, viskoznost tekućine mjeri se i utvrđuje na -40°C. S obzirom na vlažno vrelište i viskoznost, najveću sigurnost pružaju kočione tekućine prema standardu DOT 5. [12]

Kočione su tekućine vrlo otrovne, a na lakove djeluju kao otapala. Pri miješanju i izmjeni kočione tekućine treba se pridržavati propisa proizvođača. [12]



Slika 20. Kočiona tekućina DOT 3 proizvođača BOSCH [15]

7. Eksperimentalni dio

7.1. Kriteriji izmjene kočionog diska i pločice

U ovom dijelu rada, između ostalog, istraženi su kriteriji za izmjenu potrošenih diskova i kočionih obloga karakteristični za pojedine modele automobila. Spomenuti kriteriji temelje se na dimenzijama, odnosno minimalnim debljinama diska i kočionih obloga, a izvađeni su iz baze podataka online platforme Autodata u poslovnici Autokluba Siget. Autodata je svjetski lider u pružanju informacija za profesionalan servis, održavanje i popravak automobila. Navedena platforma nudi originalne podatke tj. tehničke specifikacije proizvođača za više od 29 000 modela vozila.

Tablica 2. Kriteriji izmjene za Audi A4 [16]

Osobno vozilo:	Audi A4
Godina modela:	2016.
Vrsta kočionog diska:	samoventilirajući
Dimenzije novog kočionog diska:	314x25 mm
Debljina nove kočione obloge:	19 mm
Minimalna debljina diska:	23 mm
Minimalna debljina obloge:	4 mm



Slika 21. Audi A4, 2016.god. [17]

Tablica 3. Kriteriji izmjene za BMW serije 5 [16]

Osobno vozilo:	BMW 5
Godina modela:	2017.
Vrsta kočionog diska:	samoventilirajući
Dimenzije novog kočionog diska:	330x24 mm
Debljina nove kočione obloge:	17,3 mm
Minimalna debljina diska:	21,6 mm
Minimalna debljina obloge:	3,7 mm



Slika 22. BMW serije 5, 2017.god. [18]

Tablica 4. Kriteriji izmjene za BMW serije 3 [16]

Osobno vozilo:	BMW 3
Godina modela:	2003.
Vrsta kočionog diska:	puni
Dimenzije novog kočionog diska:	322x20 mm
Debljina nove kočione obloge:	16,5 mm
Minimalna debljina diska:	17,6 mm
Minimalna debljina obloge:	3 mm



Slika 23. BMW serije 3, 2003.god. [19]

Tablica 5. Kriteriji izmjene za Mercedes-Benz M-Class [16]

Osobno vozilo:	Mercedes-Benz M-Class
Godina modela:	2011.
Vrsta kočionog diska:	samoventilirajući
Dimenzije novog kočionog diska:	330x32 mm
Debljina nove kočione obloge:	18,7 mm
Minimalna debljina diska:	30 mm
Minimalna debljina obloge:	3 mm



Slika 24. Mercedes-Benz M-Class, 2011.god. [20]

Tablica 6. Kriteriji izmjene za Volkswagen Passat [16]

Osobno vozilo:	Volkswagen Passat
Godina modela:	2014.
Vrsta kočionog diska:	samoventilirajući
Dimenzije novog kočionog diska:	312x25 mm
Debljina nove kočione obloge:	20,4 mm
Minimalna debljina diska:	22 mm
Minimalna debljina obloge:	2 mm



Slika 25. Volkswagen Passat 2014. [21]

Tablica 7. Kriteriji izmjene za Renault Twingo II [16]

Osobno vozilo:	Renault Twingo II
Godina modela:	2014.
Vrsta kočionog diska:	puni
Dimenzije novog kočionog diska:	240x8 mm
Debljina nove kočione obloge:	16,6 mm
Minimalna debljina diska:	7 mm
Minimalna debljina obloge:	6 mm



Slika 26. Renault Twingo II, 2014.god. [22]

Tablica 8. Kriteriji izmjene za Opel Astru [16]

Osobno vozilo:	Opel Astra
Godina modela:	2003.
Vrsta kočionog diska:	puni
Dimenzije novog kočionog diska:	256x11 mm
Debljina nove kočione obloge:	17,5 mm
Minimalna debljina diska:	8 mm
Minimalna debljina obloge:	3 mm



Slika 27. Opel Astra, 2003.god. [23]

Tablica 9. Kriteriji izmjene za Daciu Logan [16]

Osobno vozilo:	Dacia Logan
Godina modela:	2013.
Vrsta kočionog diska:	puni
Dimenzije novog kočionog diska:	259x12 mm
Debljina nove kočione obloge:	18,1 mm
Minimalna debljina diska:	10,6 mm
Minimalna debljina obloge:	7,5 mm



Slika 28. Dacia Logan, 2013.god. [24]

Tablica 10. Kriteriji izmjene za Audi Q7 [16]

Osobno vozilo:	Audi Q7
Godina modela:	2015.
Vrsta kočionog diska:	samoventilirajući
Dimenzije novog kočionog diska:	330x28 mm
Debljina nove kočione obloge:	16,3
Minimalna debljina diska:	26 mm
Minimalna debljina obloge:	3,5 mm



Slika 29. Audi Q7, 2015.god. [25]

Tablica 11. Kriteriji izmjene za Peugeot 208 [16]

Osobno vozilo:	Peugeot 208
Godina modela:	2012.
Vrsta kočionog diska:	samoventilirajući
Dimenzije novog kočionog diska:	302x26 mm
Debljina nove kočione obloge:	19,1 mm
Minimalna debljina diska:	23 mm
Minimalna debljina obloge:	3 mm



Slika 30. Peugeot 308, 2012.god. [26]

Iz prikazanih tablica se može zaključiti da kriteriji izmjene potrošenih kočionih diskova i pripadajućih obloga ovise o:

- tipu kočionog diska,
- dimenzijama novog kočionog diska (promjeru i debljini),
- veličini tj. masi vozila,
- i performansama vozila (snaga motora).

Samoventilirajući kočioni diskovi imaju utore za hlađenje te su zbog toga veće debljine. Slijedom toga imaju malo niži kriterij izmjene u odnosu na pune diskove. Dimenzije novog kočionog diska u pravilu nemaju znatan utjecaj na kriterij izmjene. Veća masa i jače performanse vozila zahtijevaju veće dimenzije diska. Možemo zaključiti da se u pravilu diskovi mijenjaju nakon što se potroši 2 mm njihove debljine.

Kočione obloge troše se znatno brže od diskova, mijenjaju se u pravilu kada njihova debljina padne ispod 3 mm. Njihova početna debljina ovisi o proizvođaču. Meke kočione obloge osiguravaju veću kočionu snagu i kraći zaustavni put, no brže se troše. Tvrdе obloge su manje učinkovite i imaju manju kočionu snagu, ali su izdržljivije.

7.2. Analiza kemijskog sastava kočionih diskova i obloga

Prije same analize kemijskog sastava izrezani su reprezentativni uzorci kočionih diskova i obloga. Potrošeni dijelovi nabavljeni su u ovlaštenom Audi servisu “Auto Zubak” u Sesvetama.



Slika 31. Ispitivani kočioni disk 1



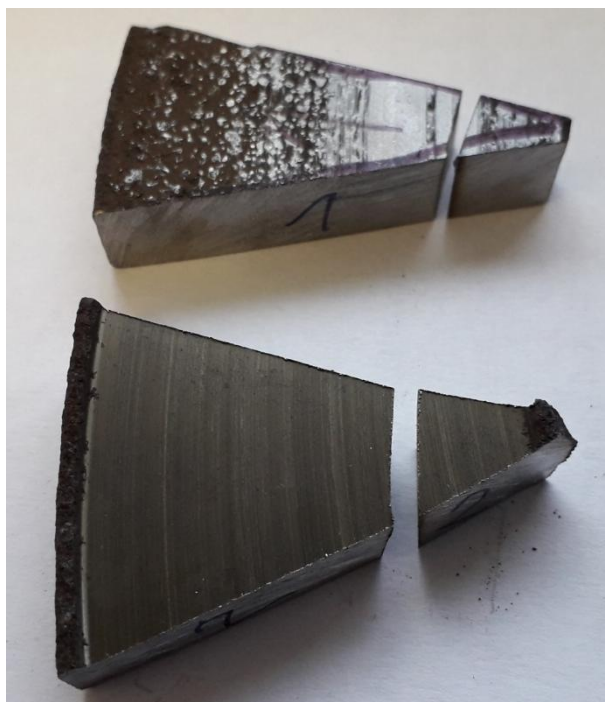
Slika 32. Ispitivani kočioni disk 2



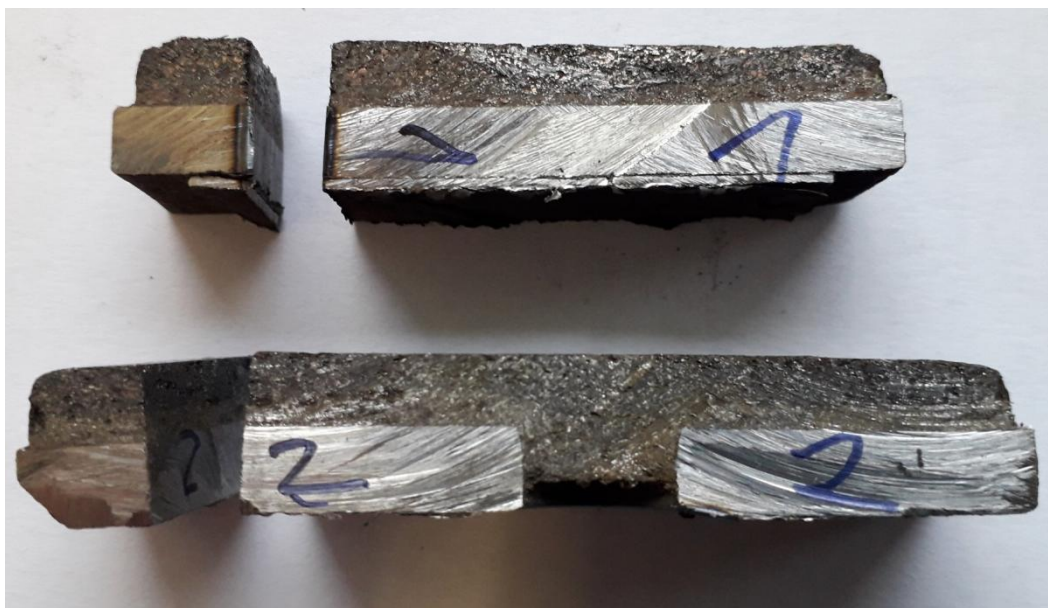
Slika 33. Ispitivana kočiona obloga 1



Slika 34. Ispitivana kočiona obloga 2



Slika 35. Izrezani uzorci kočionih diskova 1 i 2



Slika 36. Izrezani uzorci kočionih obloga 1 i 2

Kemijski sastav analiziran je u Laboratoriju za zaštitu materijala Fakulteta strojarstva i brodogradnje pomoću XRF analizatora proizvođača Innov-X Systems. XRF analizator određuje kemijski sastav uzorka mjereći spektar zračenja emitiranih od različitih elemenata u uzorku kada je isti osvijetljen s rendgenskim zrakama. Ovaj visoko precizan analizator, nedestruktivnom analizom, daje pouzdane rezultate s određenim odstupanjem u vremenskom roku od 35s.



Slika 37. XRF analizator kemijskog sastava proizvođača Innov-X Systems

7.2.1. Analiza kemijskog sastava kočionih diskova

Na svakom od uzoraka kočionih diskova kemijski sastav analiziran je na dvije lokacije na površini uzorka. Te su lokacije označene strelicama na slikama izrezanih reprezentativnih uzoraka.



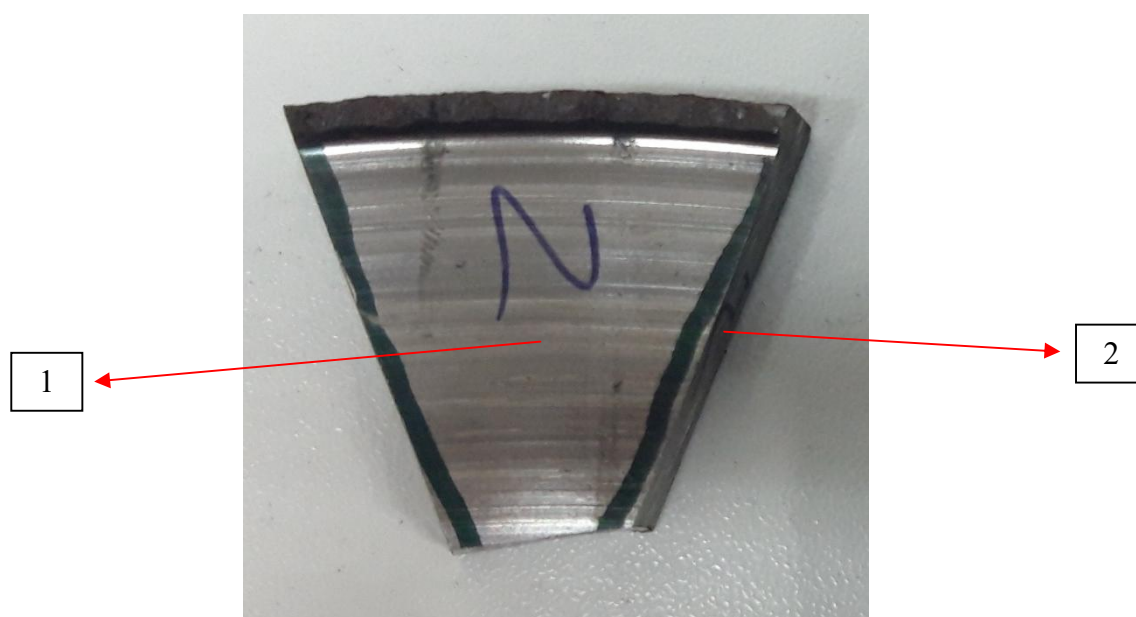
Slika 38. Lokacije analize kemijskog sastava kočionog diska 1

Tablica 12. Analiza kemijskog sastava kočionog diska 1 na lokaciji 1

Element	Udio elementa, %
Si	3,20
P	0,044
S	1,31
Ti	0,51
V	0,10
Cr	0,34
Mn	0,62
Fe	90,39
Cu	2,57
Zn	0,69
Zr	0,059
Mo	0,028
Sn	0,13

Tablica 13. Analiza kemijskog sastava kočionog diska 1 na lokaciji 2

Element	Udio elementa, %
Si	3,86
P	0,034
S	0,93
Ti	0,31
V	0,11
Cr	0,39
Mn	0,73
Fe	90,35
Cu	2,72
Zn	0,52
Zr	0,032
Mo	0,029



Slika 39. Lokacije analize kemijskog sastava kočionog diska 2

Tablica 14. Analiza kemijskog sastava kočionog diska 2 na lokaciji 1

Element	Udio elementa, %
Si	1,30
P	0,007
S	0,182
Cr	0,25
Mn	0,53
Fe	95,69
Cu	0,60
Mo	0,047

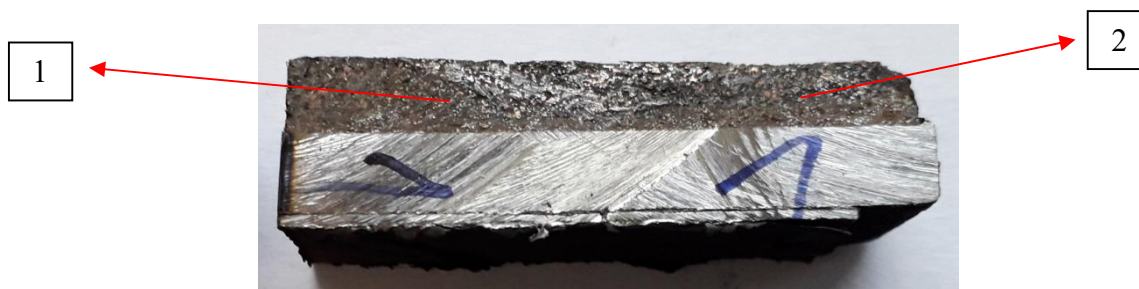
Tablica 15. Analiza kemijskog sastava kočionog diska 2 na lokaciji 2

Element	Udio elementa, %
Si	1,37
S	0,115
Cr	0,22
Mn	0,57
Fe	95,91
Cu	0,36
Mo	0,044

Iz kemijskog sastava kočionih diskova može se pretpostaviti da se radi o sivom lijevu, no to još treba dokazati uvidom u mikrostrukturu materijala. Stalni elementi su C, Si, Mn, P i S. U sivom lijevu, osim željeza, ugljik je osnovni element, ali ovim XRF analizatorom nije ga moguće utvrditi. Ugljik je u sivom lijevu inače prisutan u obliku grafitnih listića, stvaranje karbida treba izbjeći zbog negativnog utjecaja na svojstva. Silicij pospješuje stvaranje grafita, tj. otežava stvaranje karbida. Sumpor je značajan za nukleaciju i rast listićavog grafita, a mangan sprječava nastajanje željeznog sulfida FeS koji povećava krhkost sivog lijeva. Fosfor povećava otpornost na trošenje sivog lijeva. Ostali elementi poput Cu, Mo, Ti, Cr, Zn, Zr su legirni elementi koji mogu djelovati kao grafitizatori, povećavati tvrdoću, vlačnu čvrstoću i otpornost na trošenje.

7.2.2. Analiza kemijskog sastava kočionih obloga

Kao što je bio slučaj kod diskova, i na oblogama su uzete dvije lokacije za utvrđivanje kemijskog sastava koje su također prikazane strelicama na slikama.



Slika 40. Lokacije analize kemijskog sastava kočione obloge 1

Tablica 16. Analiza kemijskog sastava kočione obloge 1 na lokaciji 1

Element	Udio elementa, %
Si	3,97
S	1,18
Ti	0,43
V	0,18
Cr	0,09
Mn	0,42
Fe	82,92
Ni	0,15
Cu	4,59
Zn	4,86
Zr	0,025
Mo	0,023
Sn	1,16

Tablica 17. Analiza kemijskog sastava kočione obloge 1 na lokaciji 2

Elementi	Udio elemenata, %
Si	3,57
S	1,10
Ti	0,26
V	0,19
Cr	0,07
Mn	0,47
Fe	83,55
Ni	0,15
Cu	5,02
Zn	4,37
Zr	0,026
Mo	0,022
Sn	1,21



Slika 41. Lokacije analize kemijskog sastava kočione obloge 2

Tablica 18. Analiza kemijskog sastava kočione obloge 2 na lokaciji 1

Elementi	Udio elemenata, %
Al	5,98
Si	2,97
P	0,011
S	1,93
Ti	0,86
V	0,47
Cr	2,06
Mn	0,31
Fe	45,31
Cu	18,27
Zn	8,25
Zr	0,042
Mo	7,25
Sn	6,29

Tablica 19. Analiza kemijskog sastava kočione obloge 2 na lokaciji 2

Elementi	Udio elemenata, %
Si	1,89
S	2,32
Ti	2,03
V	1,19
Cr	0,27
Mn	0,62
Fe	80,23
Cu	3,29
Zn	6,49
Zr	0,067
Mo	0,91
Sn	0,68

Iz kemijskog sastava kočionih obloga može se vidjeti da udio elemenata dosta varira. Prepostavka je da se ovdje radi o mješavini materijala, odnosno kompozitu, ali to će se još razraditi u daljnjem ispitivanju.

7.3. Metalografska analiza

7.3.1. Metalografska priprema uzoraka

Prije analize mikrostrukture uzorak je potrebno dobro pripremiti. Sama priprema uzorka sastoji se od izrezivanja istog, ulijevanja odnosno kalupljenja u polimernu mješavinu, brušenja, poliranja i nagrivanja.

7.3.1.1. Izrezivanje reprezentativnih uzoraka i zalijevanje u polimernu smjesu

Svrha izrezivanja reprezentativnih uzoraka očituje se u tome da isti budu prikladni za brušenje, poliranje i promatranje pod mikroskopom. Da bi se prilikom rezanja izbjegla oštećenja uzrokovana pregrijavanjem ili stvaranjem pukotina u blizini površine reza, postupak rezanja provodi se uz hlađenje vodenim mlazom. Uzorci se potom zalijevaju u polimernu smjesu kako bi se zaštitili od vanjskih utjecaja te kako bi se olakšala daljnja priprema i sama analiza mikrostrukture pod mikroskopom.

Zalijevanje se vrši na način da se uzorci stave na dno kalupa uređaja za zalijevanje prikazanog na slici 42. Polimerni prah se sipa u kalup te se na njega vrši pritisak od 2,5 bara pri 143°C u trajanju od 15 minuta. Nakon toga slijedi hlađenje od pola sata.



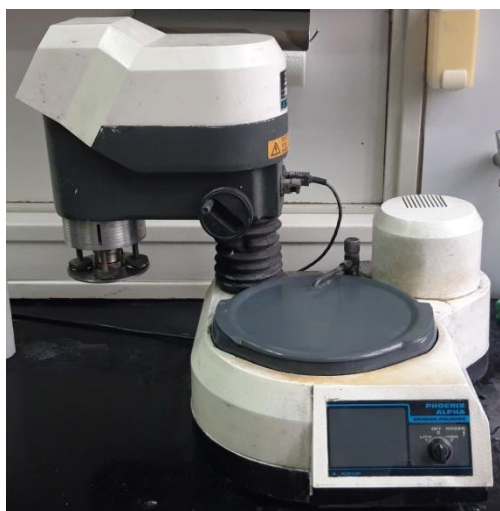
Slika 42. Uređaj za zalijevanje uzoraka "PNEUMET PRESS" proizvođača Buehler LTD

7.3.1.2. Brušenje uzoraka

Brušenje, kao postupak završne obrade odvajanjem čestica, u ovom slučaju služi za uklanjanje tragova rezanja na uzorcima. Razlikujemo ručno, strojno ili automatsko i grubo ili fino brušenje. Grubim brušenjem se uklanjaju tragovi rezanja, a finim brušenjem se skida deformirani površinski sloj i tragovi grubog brušenja. Ovisno o materijalu koji se obrađuje, izabire se odgovarajući brusni papir s odgovarajućim prednjim kutom rezne oštrice alata.

U ovom slučaju brušenje se provelo u pet koraka s različitim granulacijama abraziva. U početku su korišteni brusni papiri manje granulacije abraziva po jedinici površine (grublje brušenje), a potom brusni papiri veće granulacije abraziva (fino brušenje). Važno je da se površina uzorka ravnomjerno brusi. Nakon svakog brušenja uzorak se ispiru pod mlazom vode kako bi se uklonile odvojene čestice te se zakreće za 90° i brusi dok se ne otklone tragovi prethodnog koraka.

Brušenje je provedeno na uređaju Buehler Phoenix Alpha koji je prikazan na slici 43. Parametri postupka brušenja detaljnije su prikazani u tablici 20.



Slika 43. Uređaj za brušenje i poliranje, Buehler Phoenix Alpha

Tablica 20. Parametri postupka brušenja

Stupanj	1	2	3	4	5
Podloga	Brusni papir	Brusni papir	Brusni papir	Brusni papir	Brusni papir
Abraziv	SiC	SiC	SiC	SiC	SiC
Veličina zrna	P320	P500	P1000	P2400	P4000
Hlađenje i podmazivanje	Voda	Voda	Voda	Voda	Voda
Brzina vrtnje, (okr/min)	300	300	300	300	300
Sila pritiska (N)	Ručno	Ručno	Ručno	Ručno	Ručno
Vrijeme (min)	do poravnanja	*	*	*	*

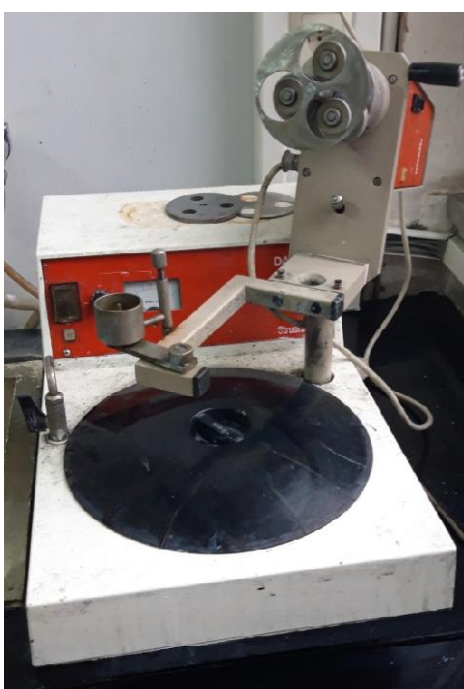
*dok se ne uklone tragovi prethodnog stupnja brušenja

7.3.1.3. Poliranje uzoraka

Poliranje se provodi nakon brušenja da se dobije finije obrađena površina. Može se izvoditi ručno ili automatski. Kod poliranja se koriste abrazivne čestice na platnu suspendirane u lubrikantu koje se mogu kotrljati i/ili klizati između platna i površine uzorka. Svrha poliranja je skidanje svih tragova brušenja i preostalog deformiranog površinskog sloja.

Na poliranom uzorku utvrđuje se da li uzorak sadrži pore, pukotine ili nemetalne uključke. Također, nakon poliranja slijedi mjerenje mikrotvrdoće.

U ovom slučaju uzorak je poliran klasičnim poliranjem sa tkaninom i dijamantnom pastom, a parametri su detaljnije prikazani u tablici 21. Postupak poliranja proveden je na uređaju Struers Dap-V koji je prikazan na slici 44.

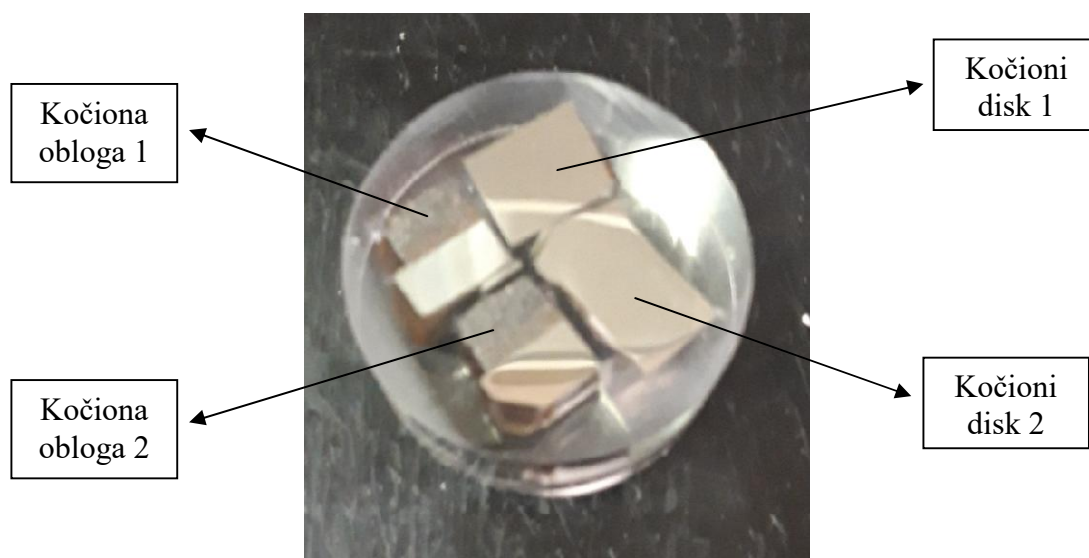


Slika 44. Uređaj za poliranje, Struers Dap-V

Tablica 21. Parametri postupka brušenja

Stupanj	1	2
Podloga	Tkanina MD-DAC	Tkanina OP-Chem
Abraziv	Dijamantna pasta	Dijamantna pasta
Veličina abraziva (μm)	3	1
Hlađenje i podmazivanje	Lubrikant	Lubrikant
Brzina vrtnje, (okr/min)	150	150
Sila pritiska (N)	25	25
Vrijeme (min)	7	5

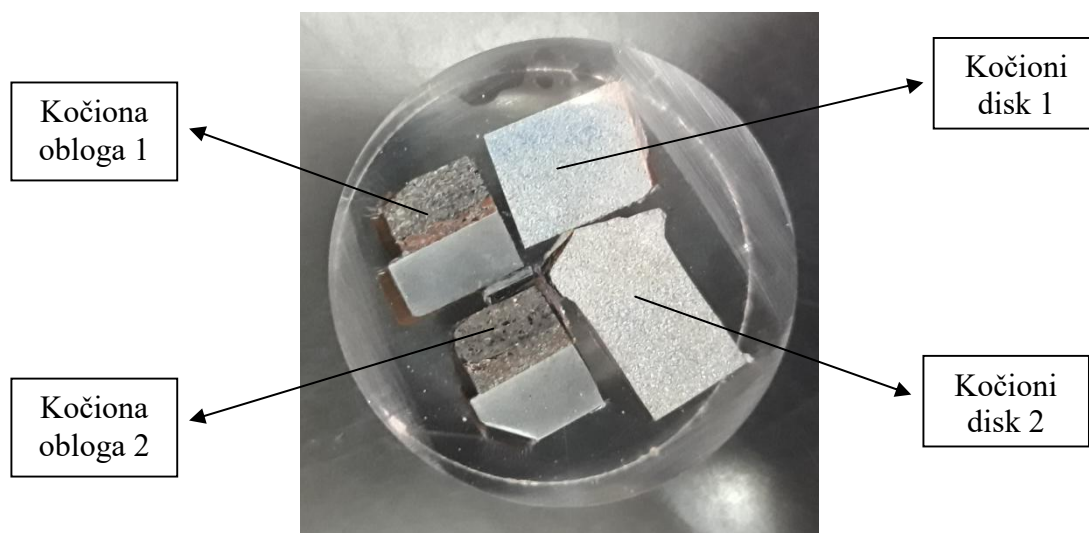
Uzorci su naknadno polirani s tekućinom za poliranje u kojoj su suspendirani abrazivi veličine $0,03 \mu\text{m}$. Nakon poliranja uzorci se ispiru u alkoholu i vodi te su spremni za promatranje pod mikroskopom.



Slika 45. Uzorci kočionih diskova i obloga u poliranom stanju

7.3.1.4. Nagrizanje uzoraka

Nagrizanje je postupak selektivnog korodiranja površine materijala s cilljem dobivanja mikrostrukture uzoraka. Postupak nagrizanja se provodi na način da su uzorci umoćeni u nital, otopinu dušične kiseline (3%) u etanolu (97%) u vremenskom trajanju od 3s. Uzorci su potom vrlo brzo isprani pod vodom i obrisani papirom.



Slika 46. Uzorci kočionih diskova i obloga u nagriženom stanju

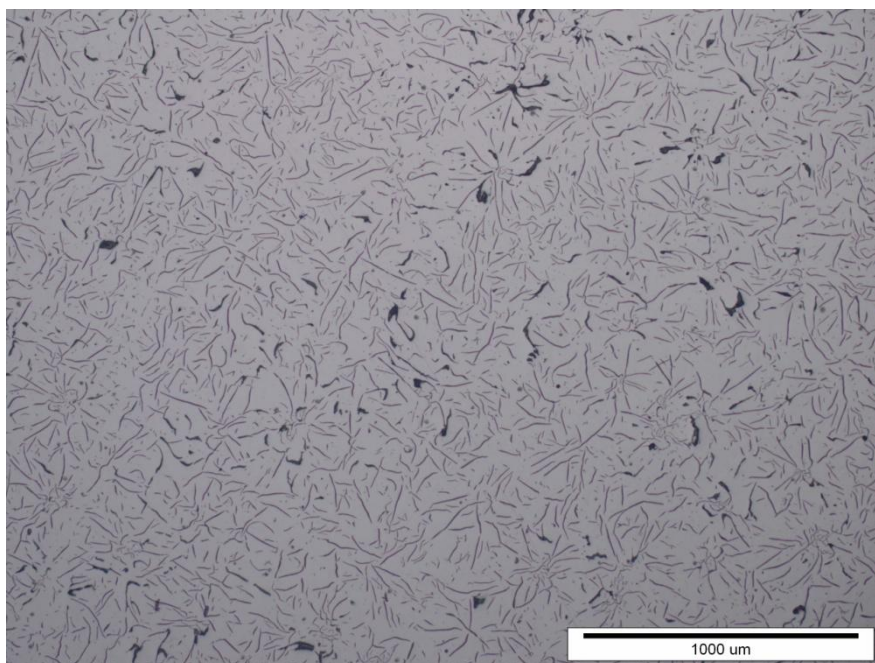
7.3.2. Analiza mikrostrukture u poliranom stanju

Nakon poliranja uzorci su spremni za mikroanalizu, tj. fotografiranje svjetlosnim mikroskopom. Analiza mikrostrukture u poliranom stanju provedena je na uređaju OLYMPUS GX51, prikazanom na slici 47. Za svaki od uzoraka snimljene su 4 fotografije s povećanjima od 50x, 100x, 200x i 500x. Svrha ove analize je utvrđivanje rasporeda listića grafita i prisutnosti eventualnih uključaka u mikrostrukтури.

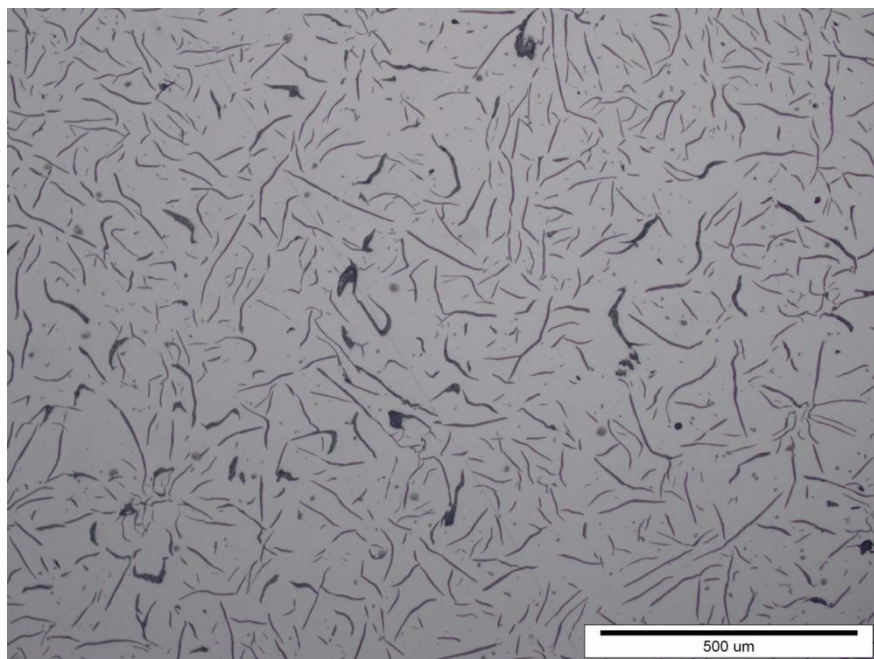


Slika 47. Svjetlosni mikroskop OLYMPUS GX51

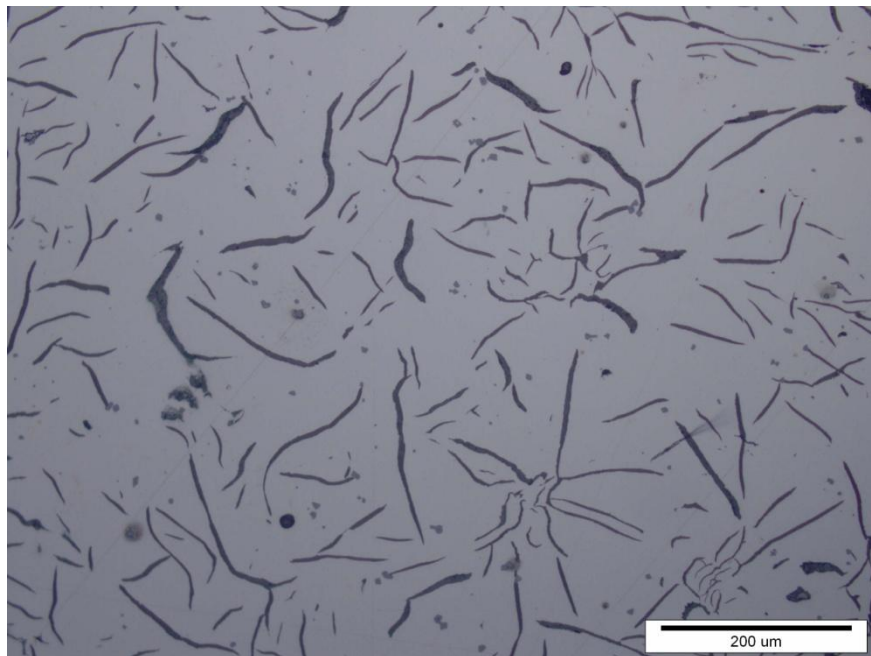
Kočioni disk 1:



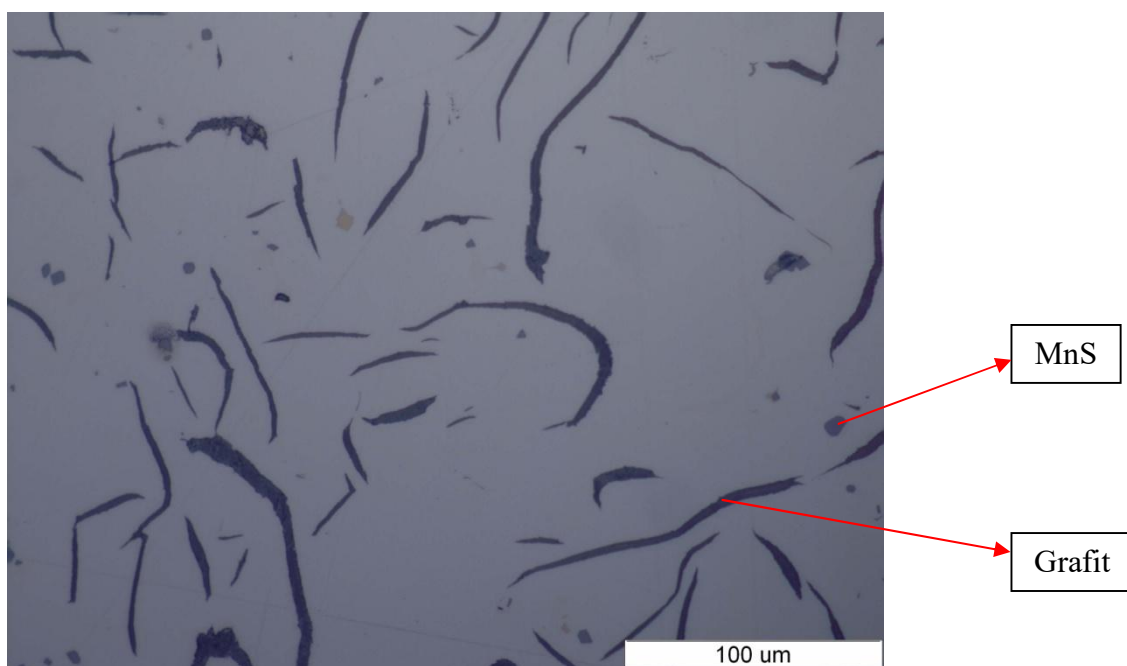
Slika 48. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 1 pri povećanju od 50x



Slika 49. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 1 pri povećanju od 100x

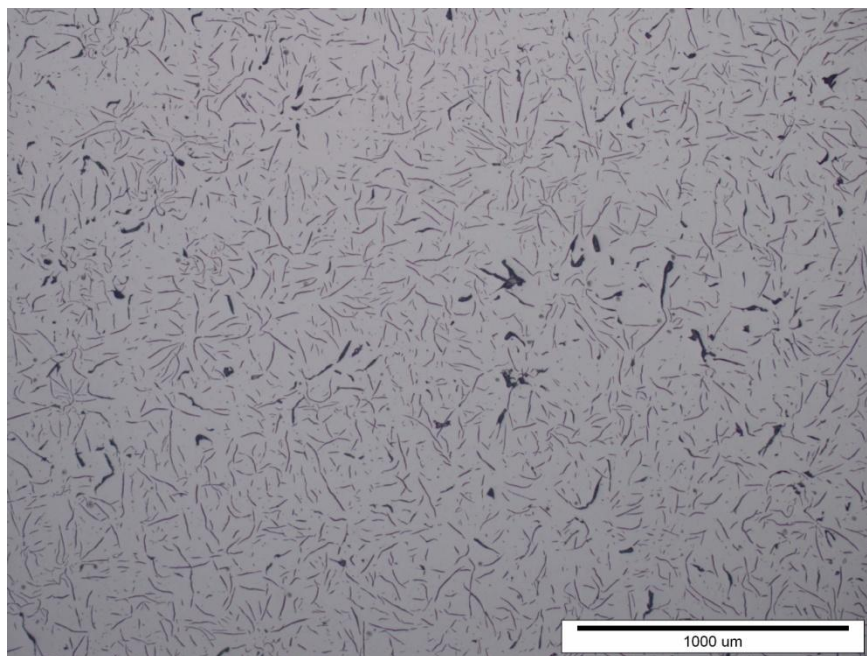


Slika 50. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 1 pri povećanju od 200x

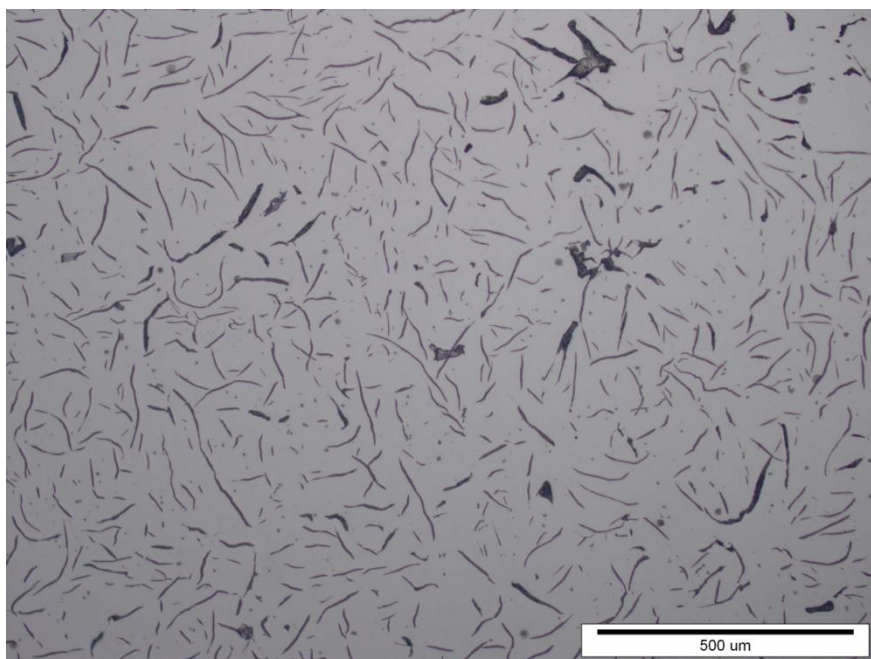


Slika 51. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 1 pri povećanju od 500x

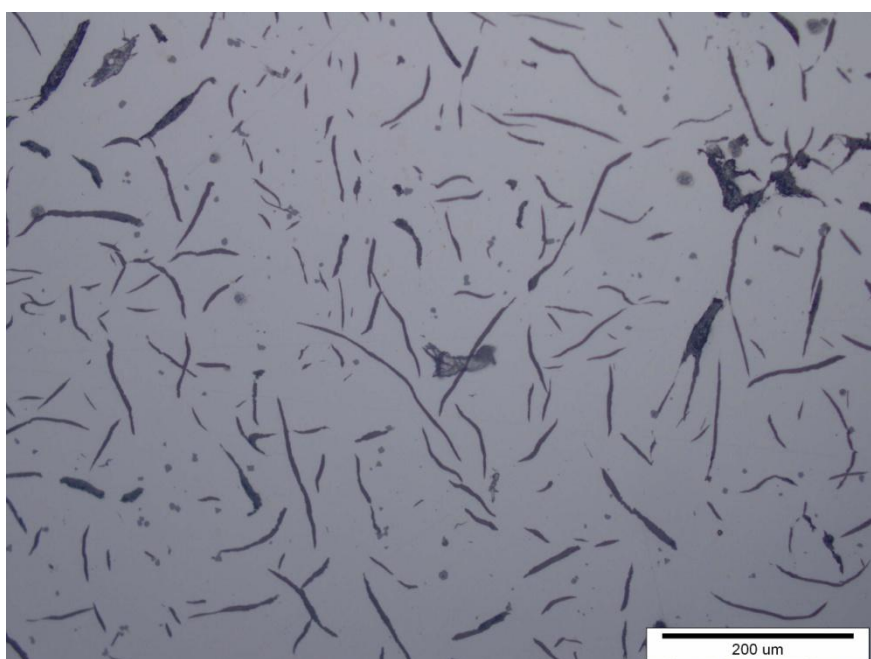
Kočioni disk 2:



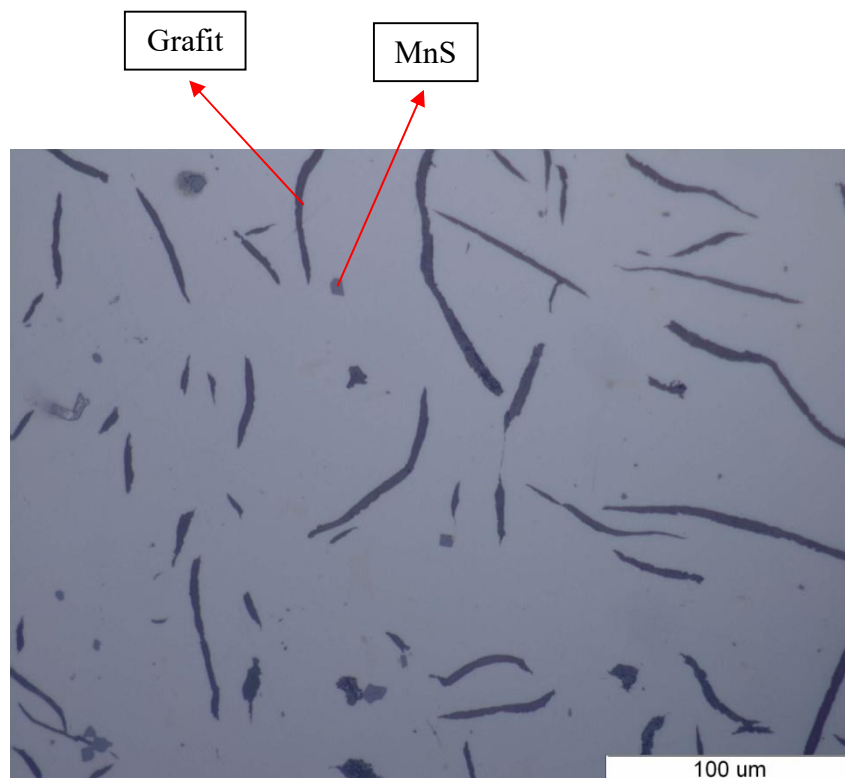
Slika 52. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 2 pri povećanju od 50x



Slika 53. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 2 pri povećanju od 100x



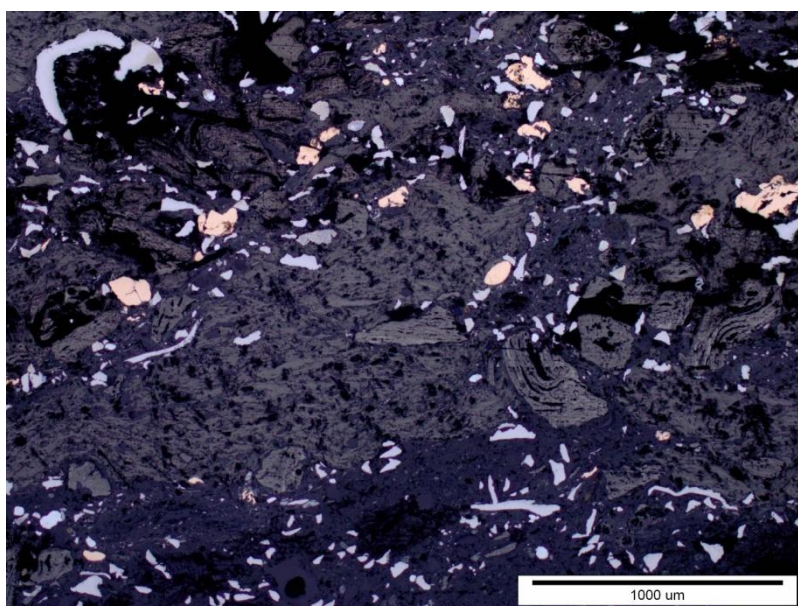
Slika 54. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 2 pri povećanju od 200x



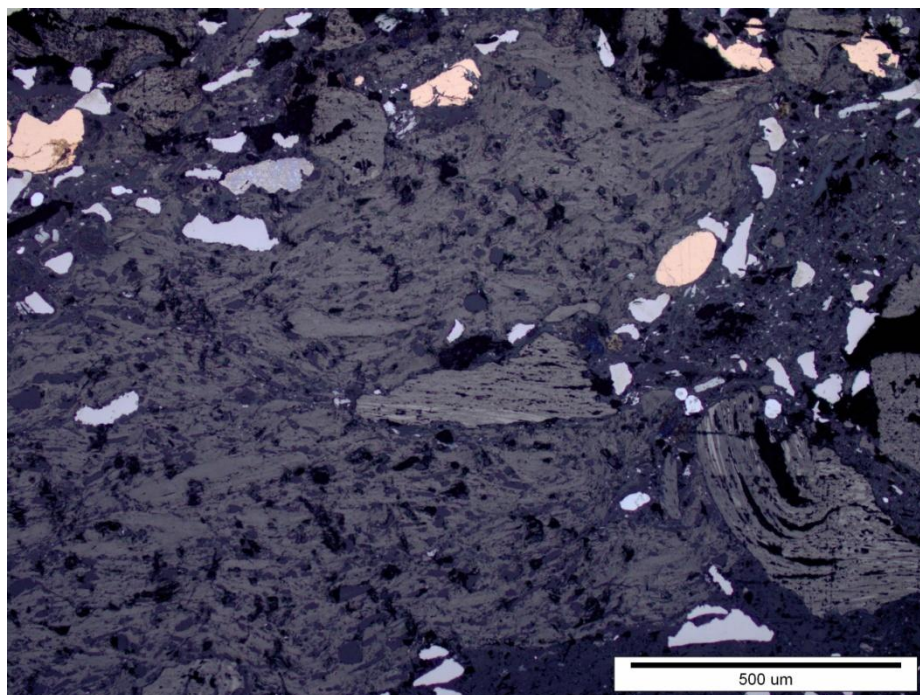
Slika 55. Mikrostruktura polirane površine kočionog diska 2 pri povećanju od 500x

Iz snimljenih mikrostruktura kočionih diskova 1 i 2, pri manjim povećanjima, da se zaključiti da su listići grafita jednoliko raspoređeni. Pri povećanjima od 500x jasno se mogu vidjeti uključci manganovog sulfida (MnS). Oni nastaju kao produkti reakcije sumpora s manganom te predstavljaju moguća mjesta nukleacije listića grafita. Mangan ovim putem sprječava nastajanje željeznog sulfida, FeS koji povećava krhkost sivog lijeva.

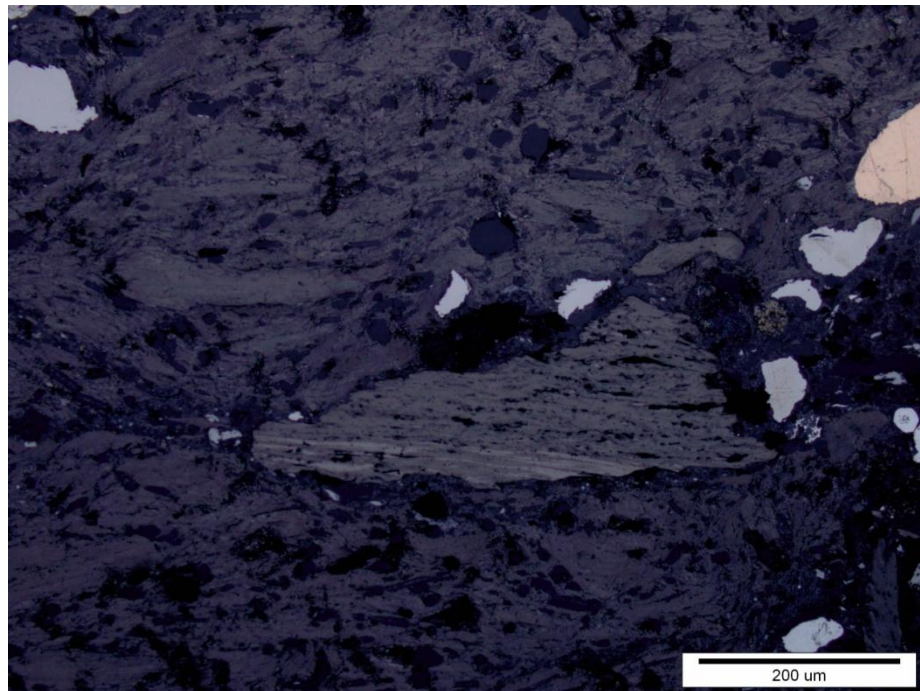
Kočiona obloga 1:



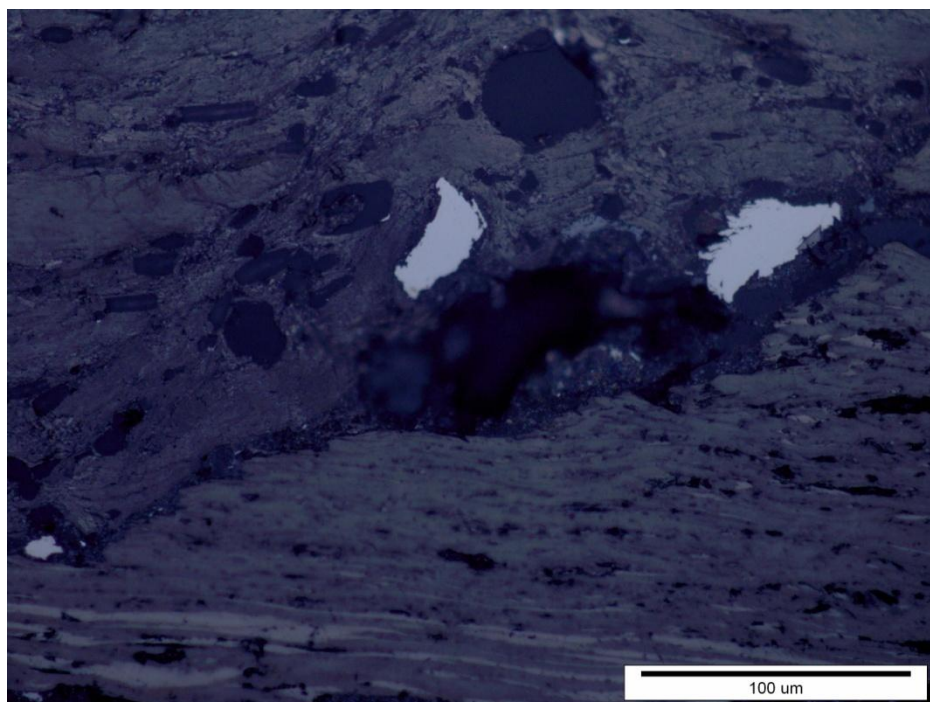
Slika 56. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 1 pri povećanju od 50x



Slika 57. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 1 pri povećanju od 100x

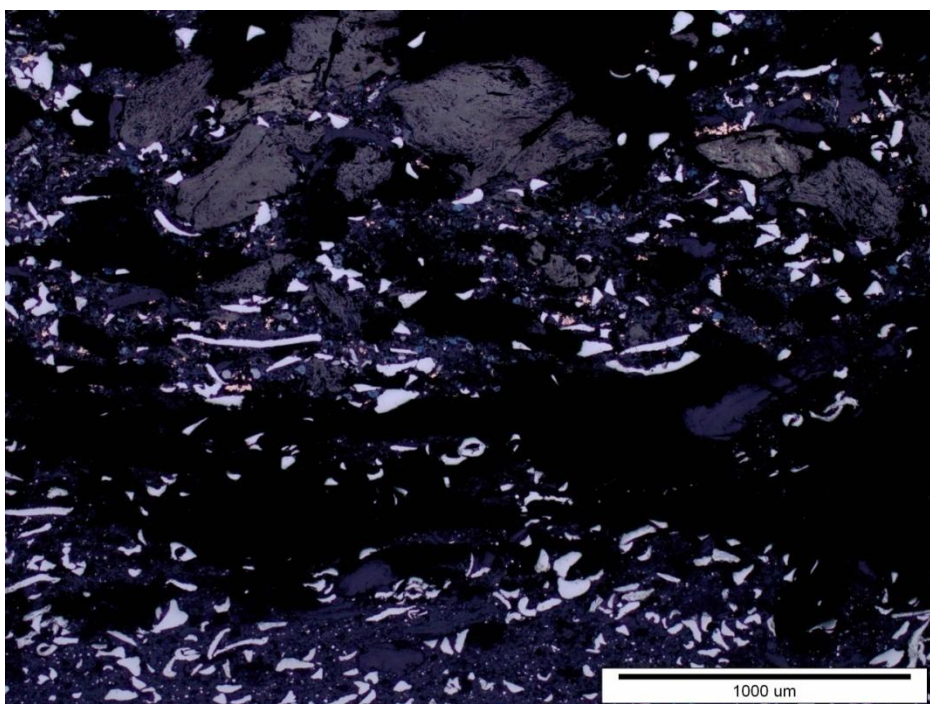


Slika 58. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 1 pri povećanju od 200x

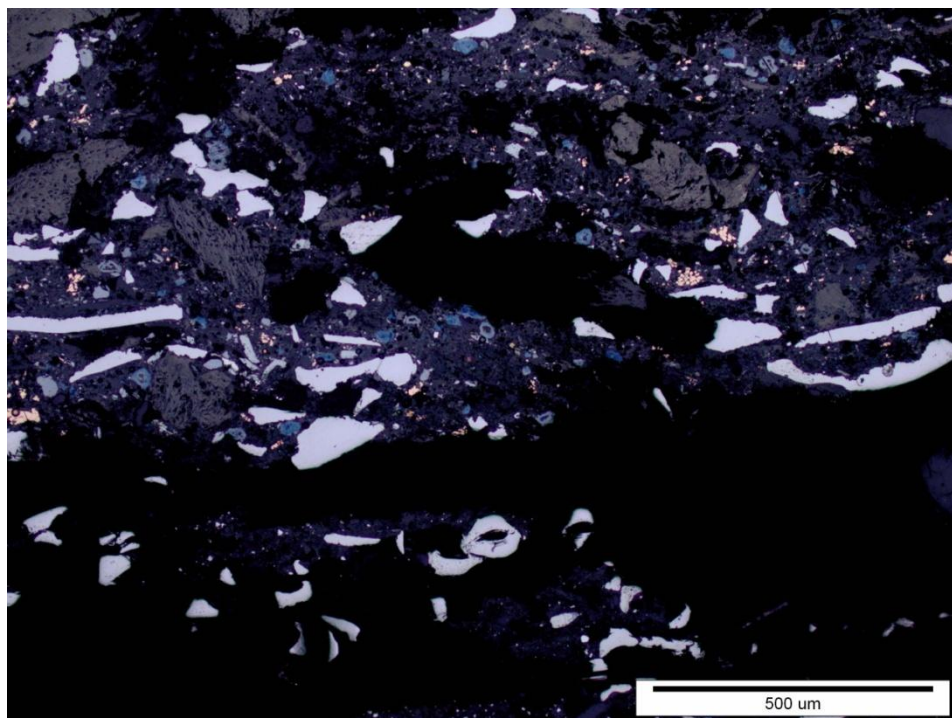


Slika 59. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 1 pri povećanju od 500x

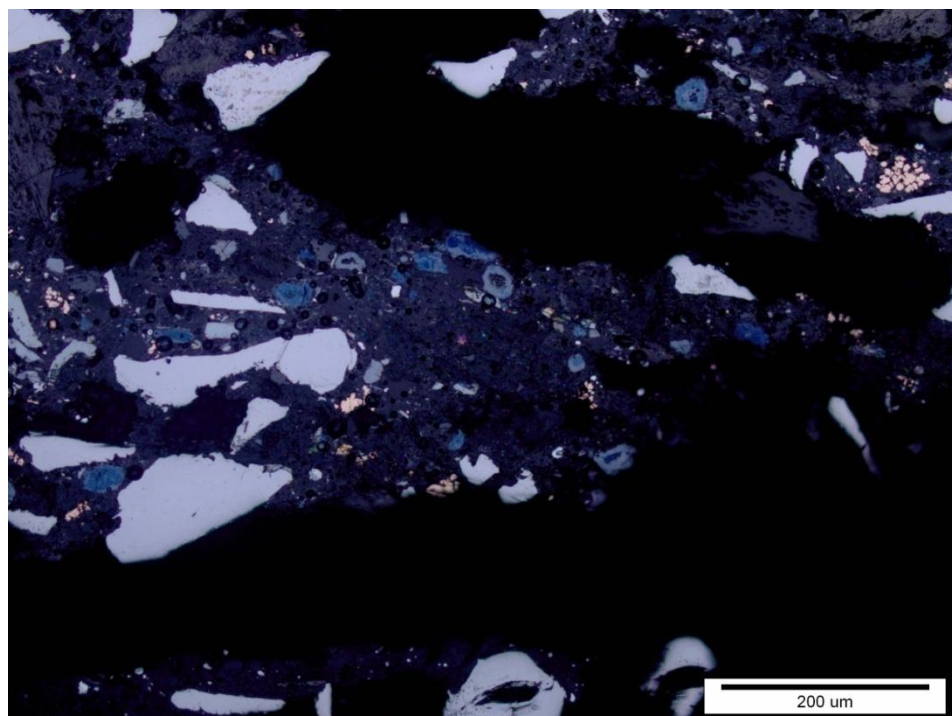
Kočiona obloga 2:



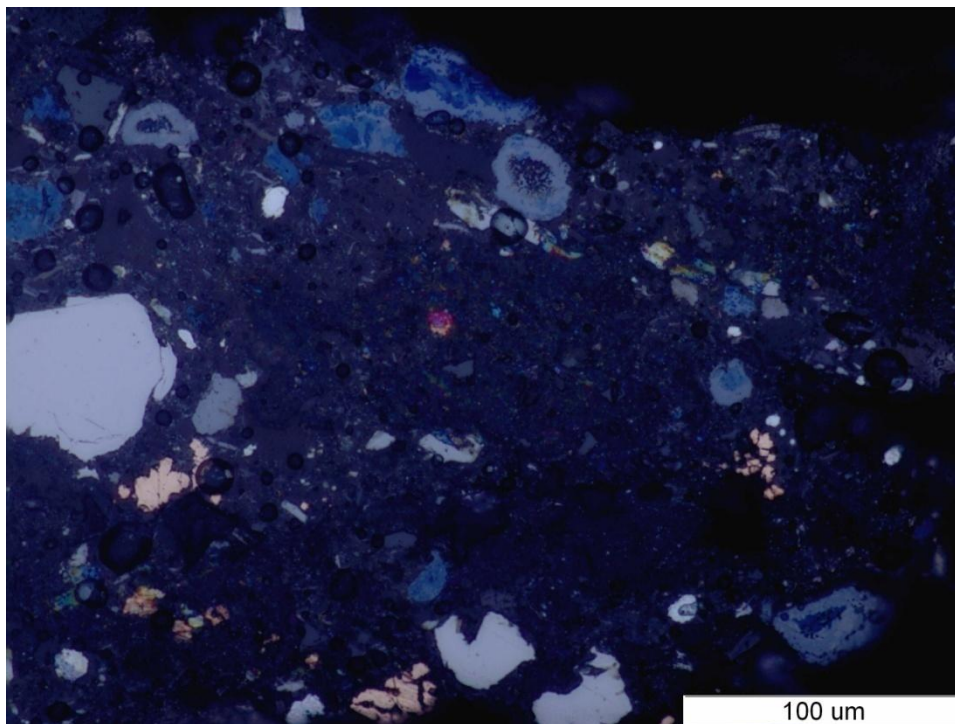
Slika 60. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 2 pri povećanju od 50x



Slika 61. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 2 pri povećanju od 100x



Slika 62. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 2 pri povećanju od 200x



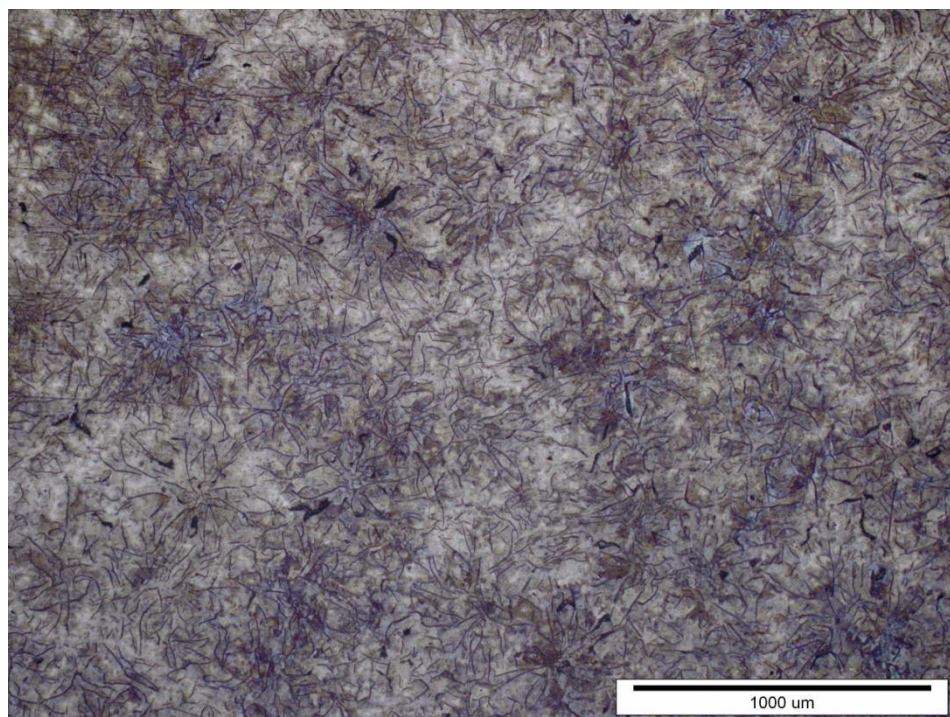
Slika 63. Mikrostruktura polirane površine kočione obloge 2 pri povećanju od 500x

Iz snimljenih mikrostruktura polirane površine kočionih obloga 1 i 2 ostajemo pri zaključku da se radi o sinteriranom kompozitnom materijalu kojega čine u najvećem udjelu željezo, bakar, cink i aluminij što se moglo vidjeti iz analize kemijskog sastava XRF analizatorom.

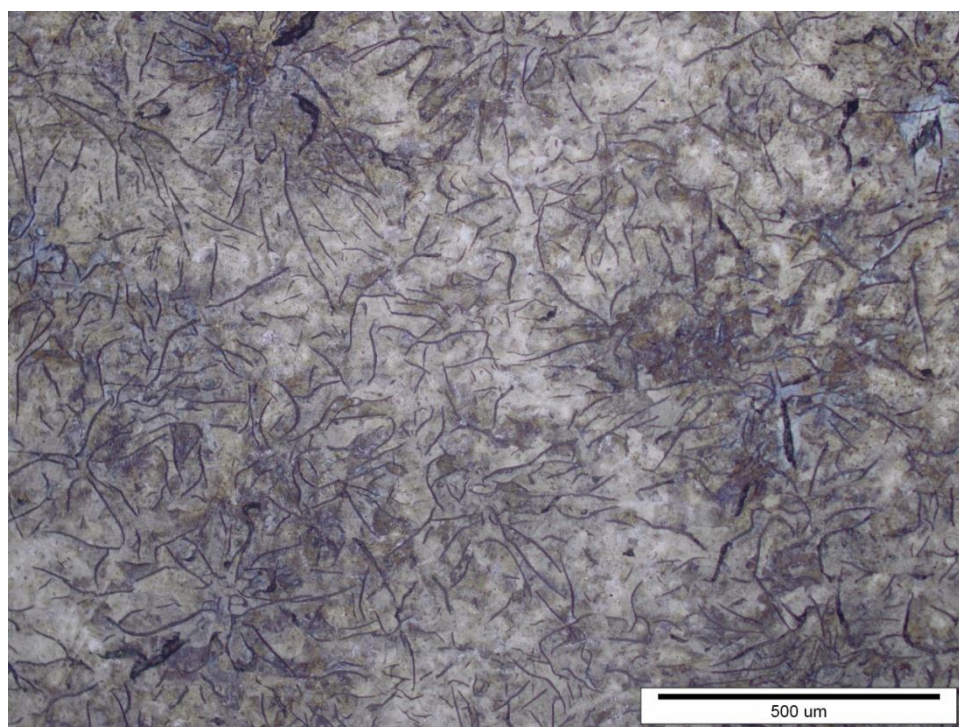
7.3.3. Analiza mikrostrukture u nagriženom stanju

Selektivno korodiranje površine uzoraka provodi se da bi granice zrna i strukturne tvorevine u mikrostrukтури, koje ne vidimo u poliranom stanju, bile vidljive na snimkama svjetlosnog mikroskopa. Nagrizanje uzoraka kočionih obloga nije imalo boljeg efekta na svjetlosnom mikroskopu te su stoga ovdje prikazane samo snimke mikrostrukture kočionih diskova u nagriženom stanju pri povećanju od 50x, 100x, 200x i 500x.

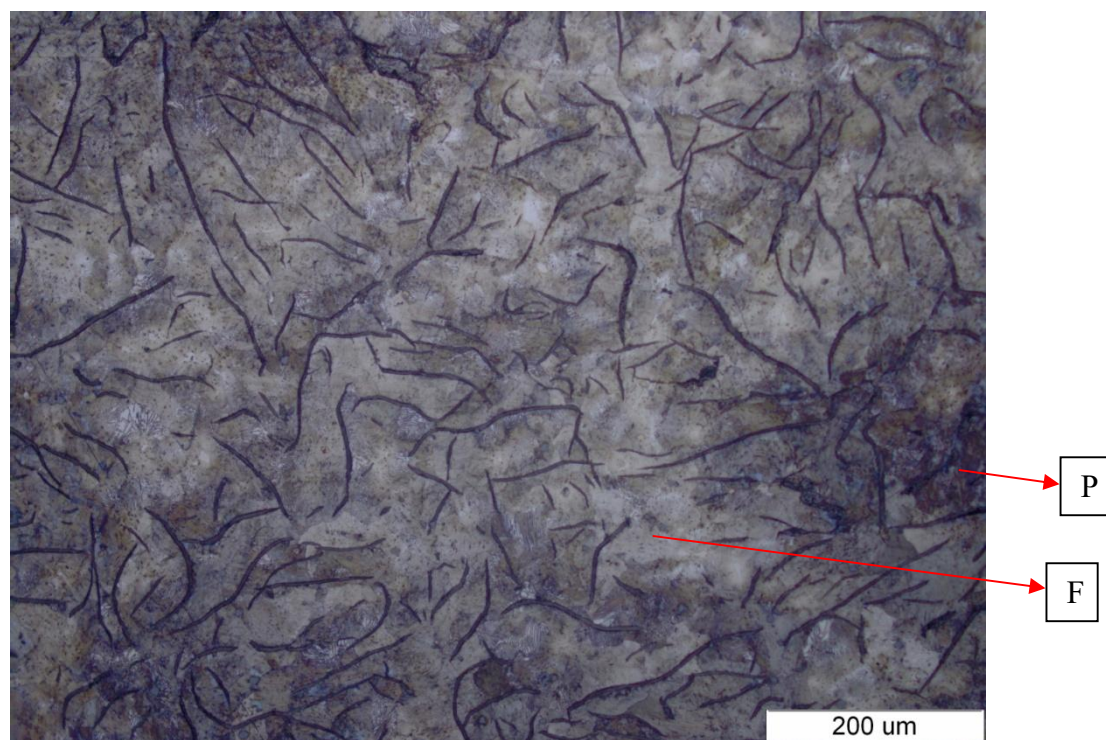
Kočioni disk 1:



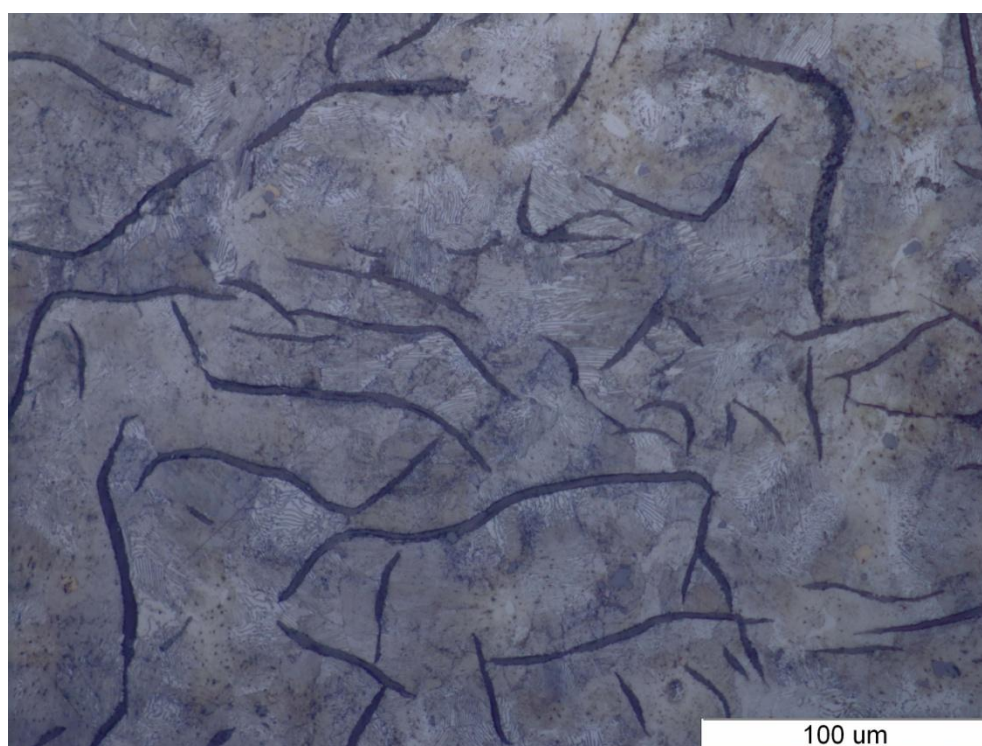
Slika 64. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 1 pri povećanju od 50x



Slika 65. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 1 pri povećanju od 100x

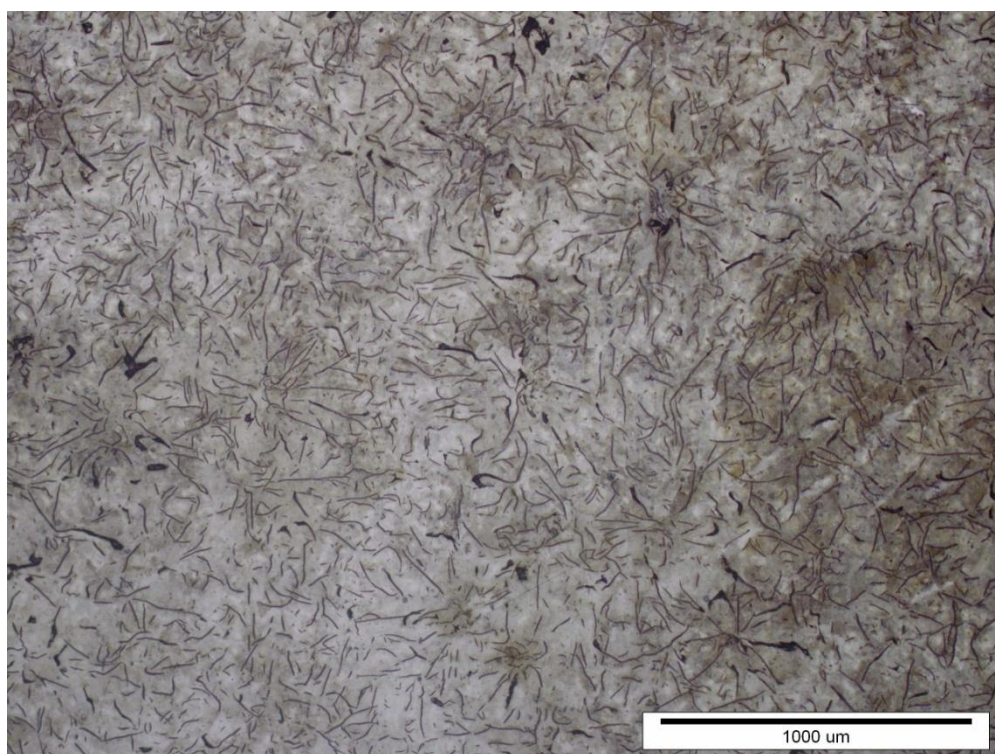


Slika 66. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 1 pri povećanju od 200x

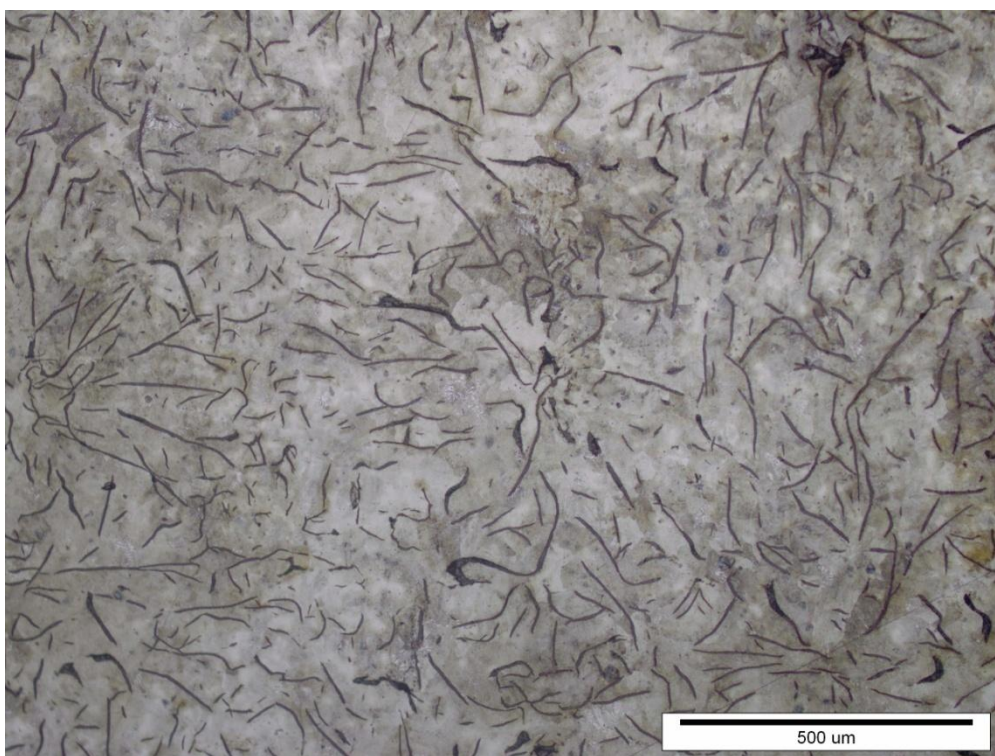


Slika 67. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 1 pri povećanju od 500x

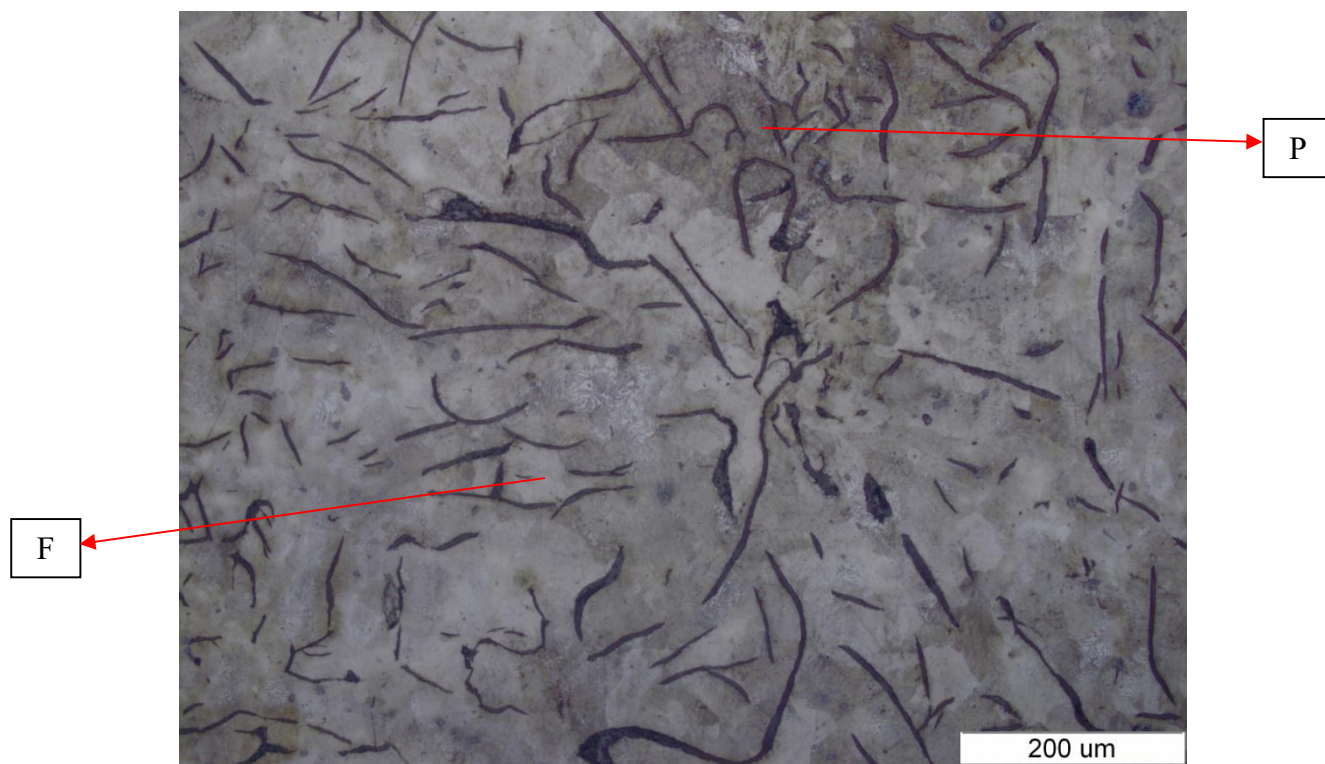
Kočioni disk 2:



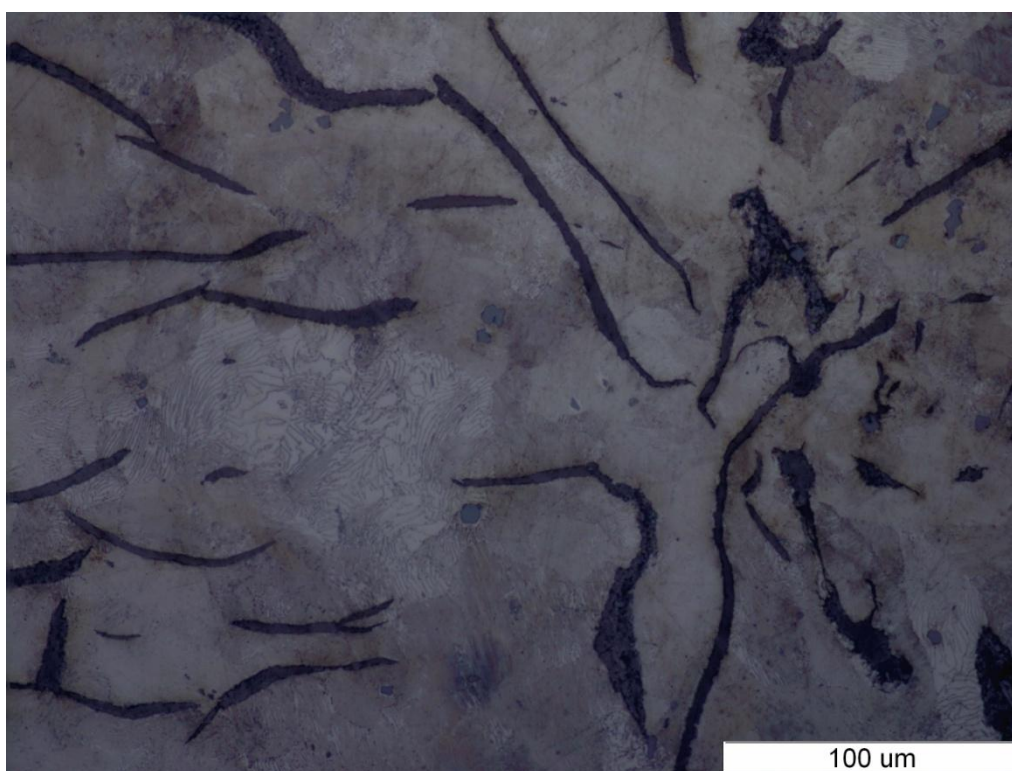
Slika 68. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 2 pri povećanju od 50x



Slika 69. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 2 pri povećanju od 100x



Slika 70. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 2 pri povećanju od 200x

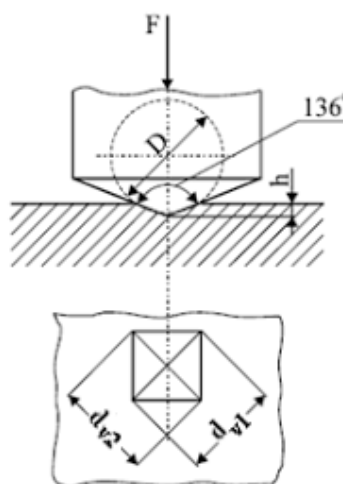


Slika 71. Mikrostruktura nagrižene površine kočionog diska 2 pri povećanju od 500x

Mikroanalizom nagriženih uzoraka kočionih diskova 1 i 2 na fotografijama svjetlosnog mikroskopa može se uočiti feritno-perlitna osnova te izlučeni listići (lamelle) grafita. Ova gusta mikrostruktura još jednom nam potvrđuje da je materijal kočionih diskova sivi lijev. Metalna osnova ovdje nema kontinuitet jer su listići grafita tako raspoređeni. Oni djeluju kao zarezi u metalnoj osnovi.

7.4. Mikrotvrdoća

Mjerenje mikrotvrdoće uzoraka u ovom radu provedeno je Vickersovom metodom čiji je penetrator istostrana četverostrana piramida s kutem između stranica od 136° . Ovakav kut nije odabran nasumice, već se utiskivanjem penetratora s tim kutem, dobivaju vrijednosti tvrdoće neovisne o primijenjenoj sili. Dakle, primjenom iste sile moguće je mjeriti tvrdoću mekanih i tvrdih materijala, a isto tako se tvrdoća istog materijala može mjeriti s različitim opterećenjima. Utiskivanjem ovakvog penetratora u materijalu ostaje otisak oblika piramide prikazanog na slici 72. Mjerenje mikrotvrdoće provedeno je na tvrdomjeru PMT 3 sa 200 gramskim utegom. [27]



Slika 72. Skica penetratora i otiska kod Vickersove metode [27]



Slika 73. Tvrdomjer PMT 3

U tablici 22. prikazana su po tri mjerenja tvrdoće za svaki kočioni disk i prema tome je izračunata srednja vrijednost tvrdoće. Tvrdoća je mjerena na tri lokacije te se nastojalo da one budu međusobno dovoljno udaljene.

Tablica 22. Prikaz mjerenja tvrdoće uzoraka kočionih diskova

Uzorak	Tvrdoća u otisku 1	Tvrdoća u otisku 2	Tvrdoća u otisku 3	Srednja vrijednost HV0,2
Kočioni disk 1	193	274	220	229
Kočioni disk 2	369	252	313	311

Što se tiče mjerenja tvrdoće uzoraka kočionih obloga, uspješno se mogla utvrditi tvrdoća samo u jednom otisku kočione obloge 1. Razlog tomu je jako slaba ili gotovo nikakva vidljivost otisaka penetratora na mikroskopu. U tom otisku iznos tvrdoće je 91,4 HV0,2 što nam ukazuje da je obloga znatno mekši materijal koji se gotovo trostruko brže troši od diska u tom tribosustavu.

Rasipanja tvrdoće uzoraka kočionih diskova posljedica su neravnina na samoj površini koje su nastale nejednolikim trošenjem. Sivi lijev s ovim vrijednostima tvrdoće se teže obrađuje obradom odvajanjem čestica što je u funkciji kočionih diskova dobro jer će se teže trošiti. Kočioni disk 2 većom tvrdoćom pokazuje bolju otpornost na trošenje te time i bolju kvalitetu.

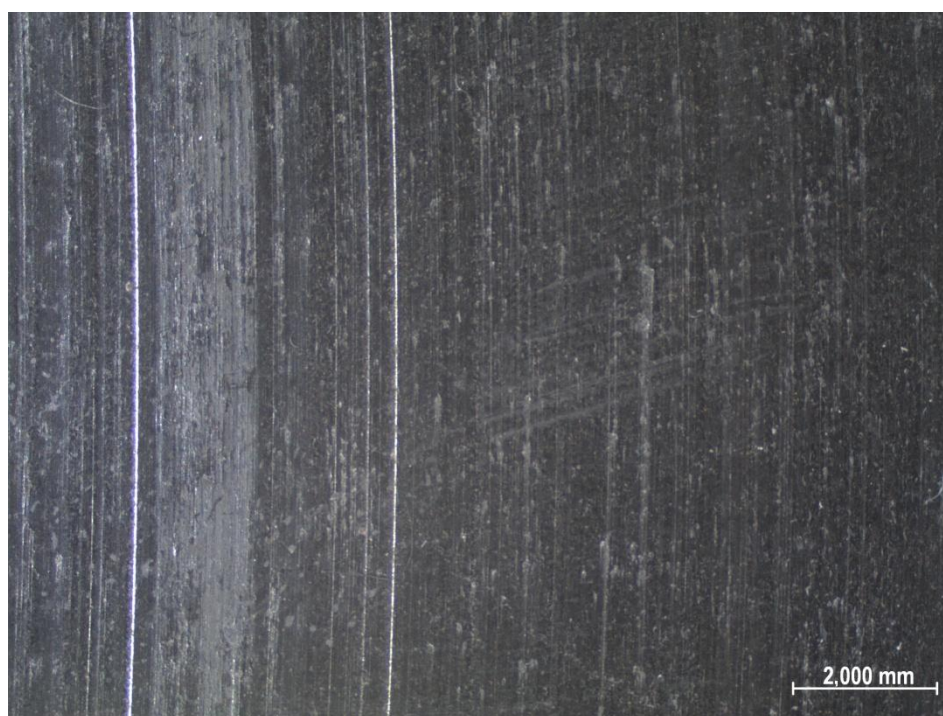
7.5. Analiza tragova trošenja

Analiza traga trošenja provedena je na stereo mikroskopu LEICA MZ6. Napravaljena su 3 povećanja od 10x, 25x i 50x te su se potom nastojali odrediti uzroci eventualnih brazdi na površini diska i pukotina na površini obloge.

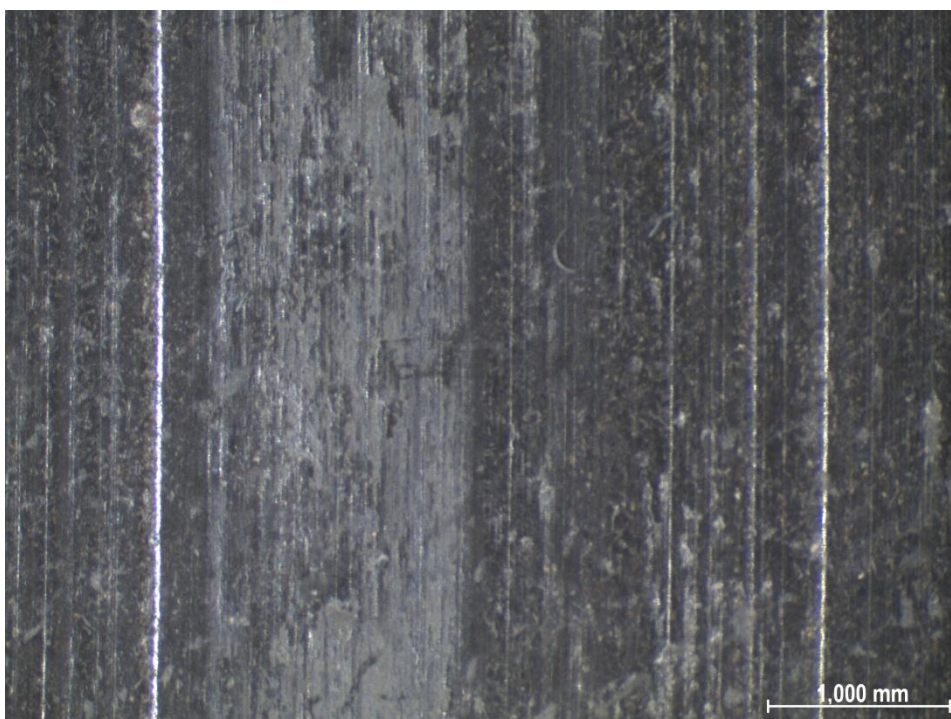


Slika 74. Stereo mikroskop LEICA MZ6

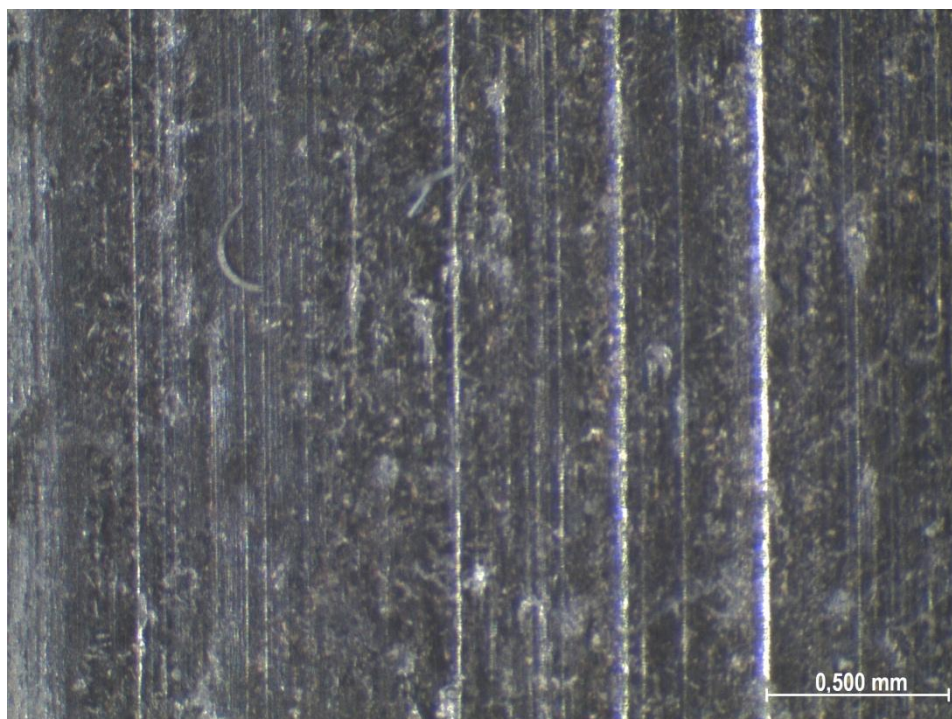
Kočioni disk 1:



Slika 75. Snimak tragova trošenja kočionog diska 1 pri povećanju od 10x



Slika 76. Snimak tragova trošenja kočionog diska 1 pri povećanju od 25x

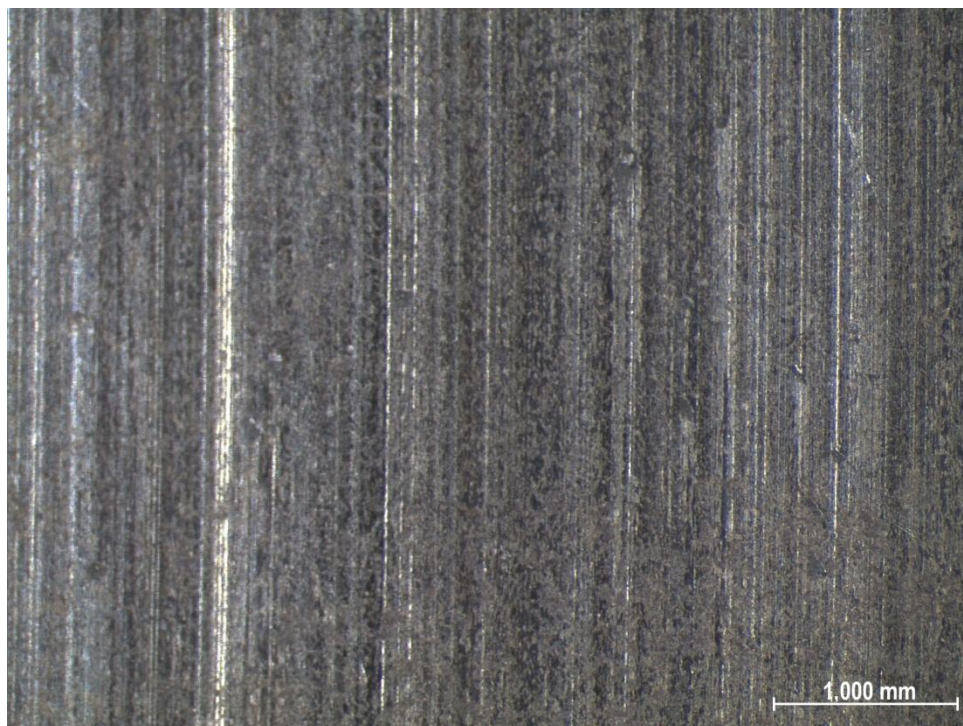


Slika 77. Snimak tragova trošenja kočionog diska 1 pri povećanju od 50x

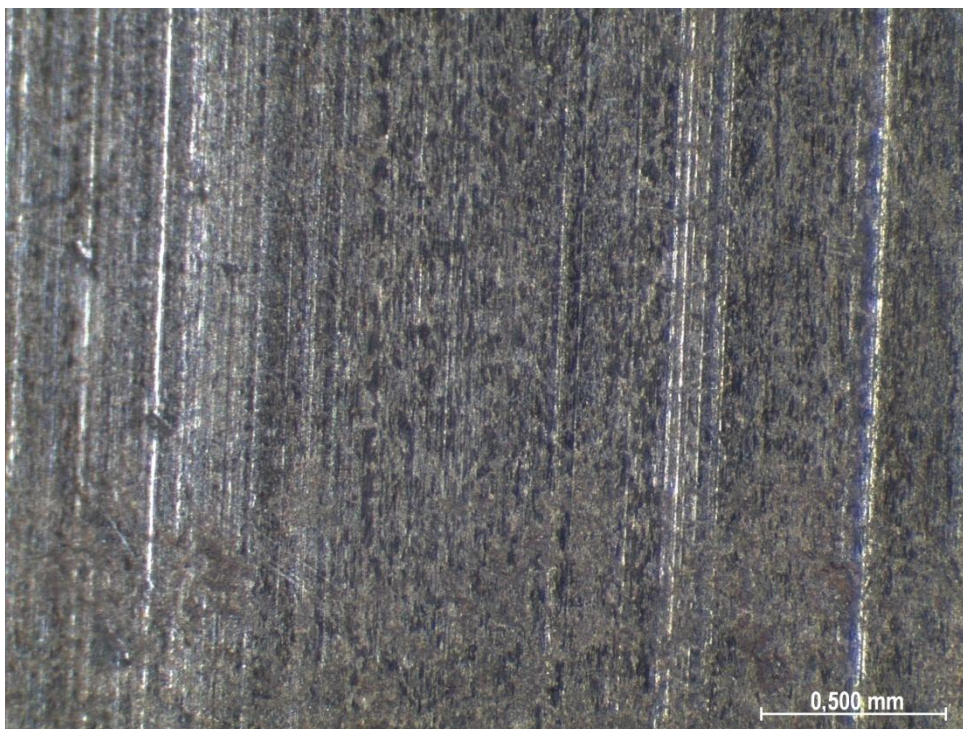
Kočioni disk 2:



Slika 78. Snimak tragova trošenja kočionog diska 2 pri povećanju od 10x



Slika 79. Snimak tragova trošenja kočionog diska 2 pri povećanju od 25x



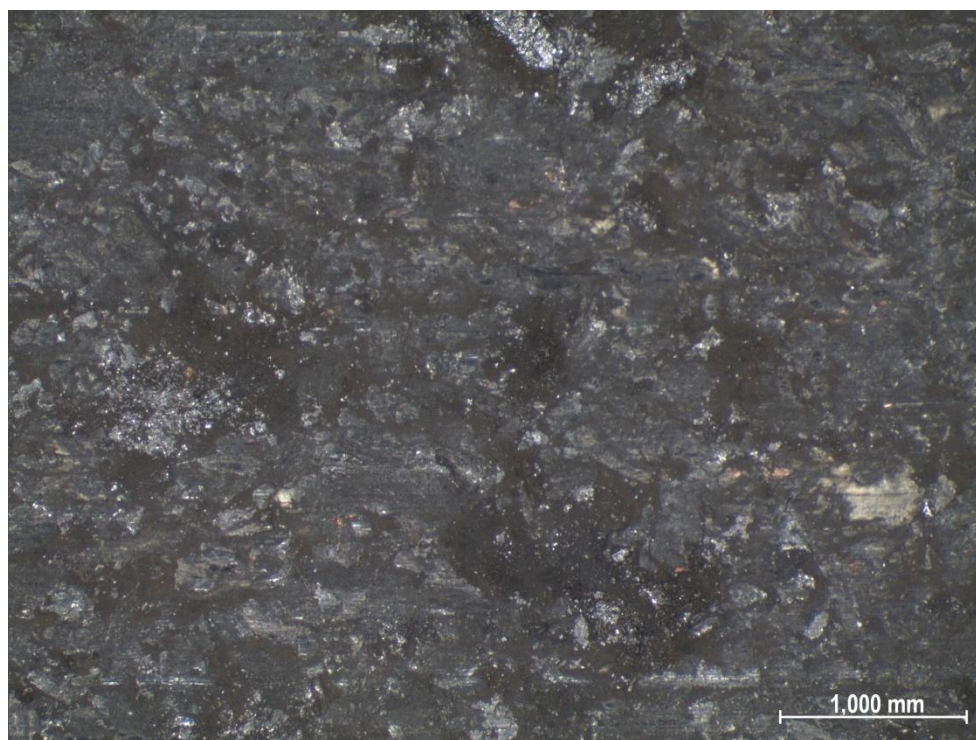
Slika 80. Snimak tragova trošenja kočionog diska 2 pri povećanju od 50x

Iz snimaka tragova trošenja kočionih diskova na stereo mikroskopu, jasno se mogu uočiti izražene brazde koje su posljedica kontakta diska i tvrdih konstituenata iz kočione obloge koji na površini diska ostavljaju izraženije tragove trošenja od mekših materijala.

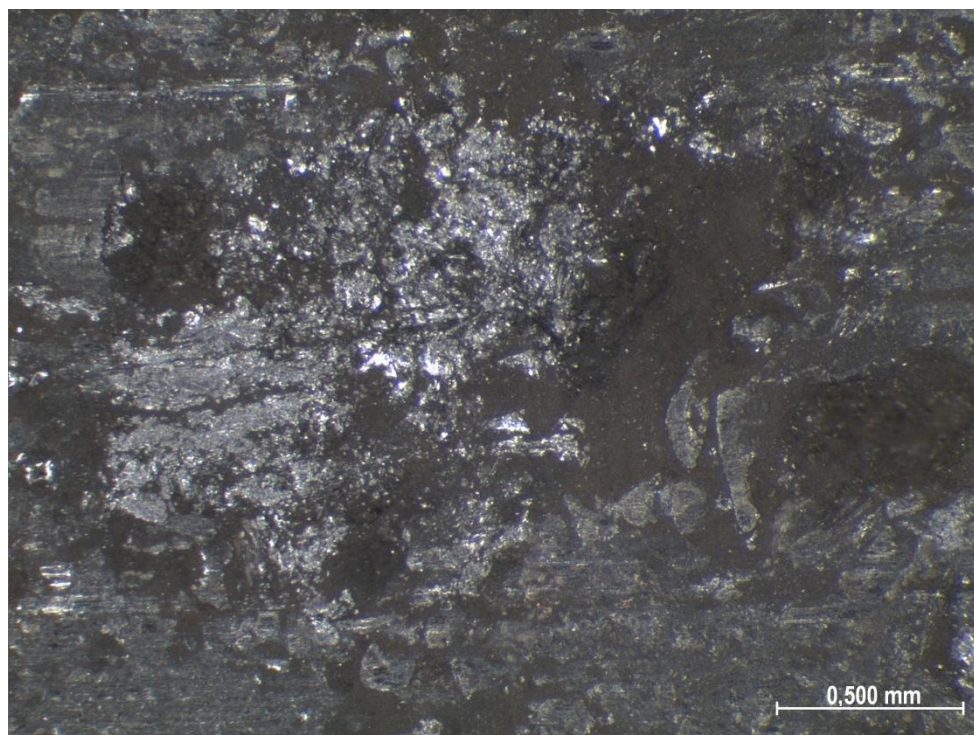
Kočiona obloga 1:



Slika 81. Snimak tragova trošenja kočione obloge 1 pri povećanju od 10x

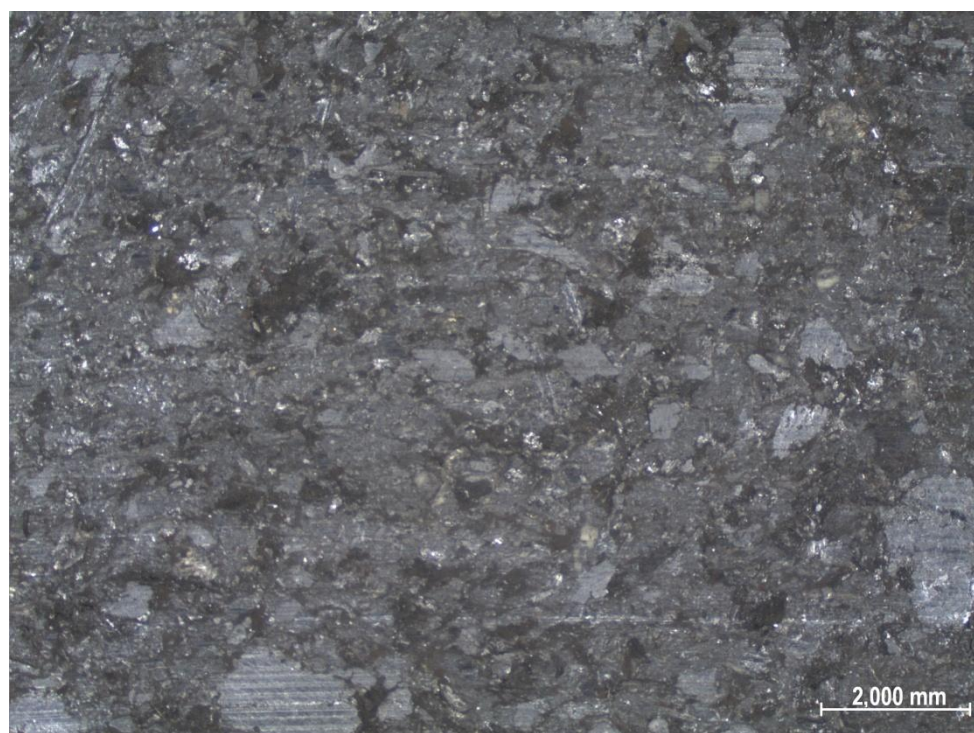


Slika 82. Snimak tragova trošenja kočione obloge 1 pri povećanju od 25x

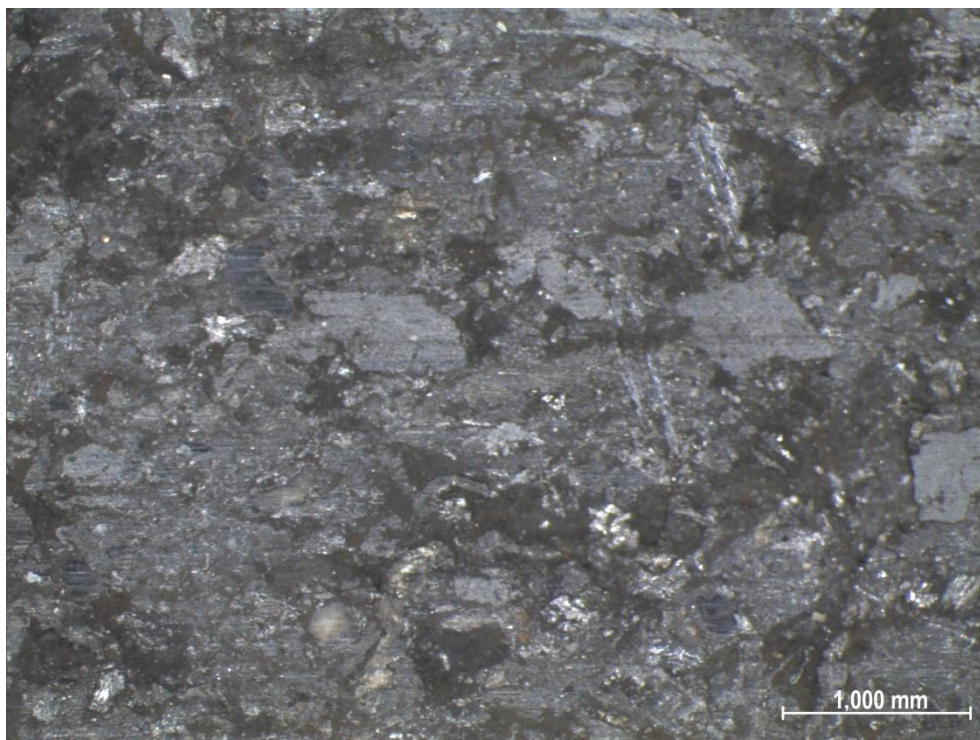


Slika 83. Snimak tragova trošenja kočione obloge 1 pri povećanju od 50x

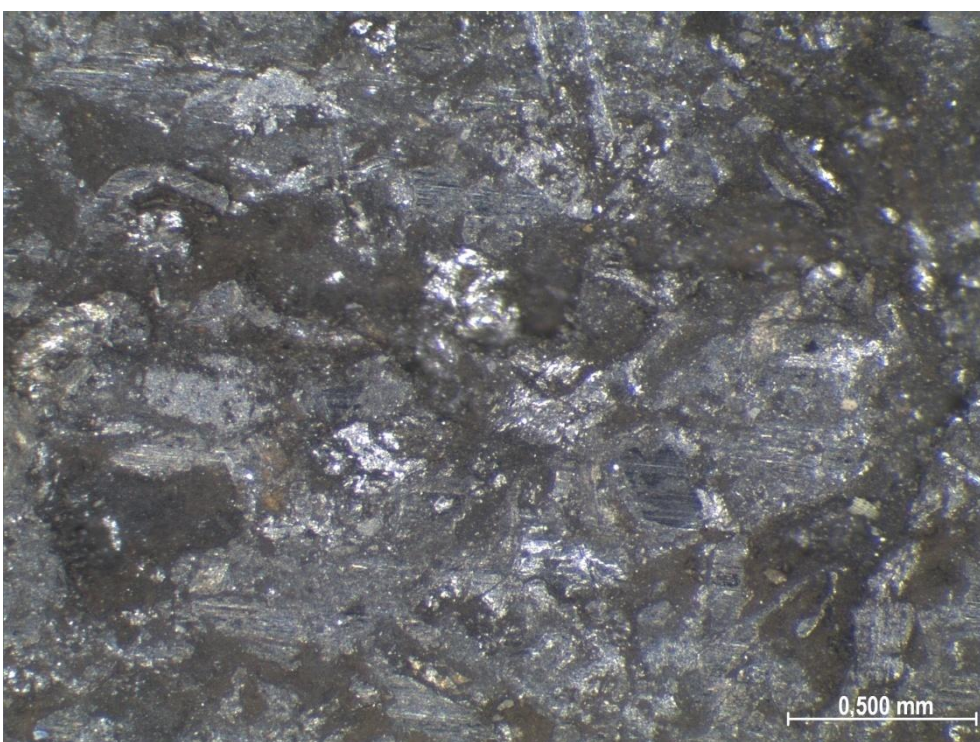
Kočiona obloga 2:



Slika 84. Snimak tragova trošenja kočione obloge 2 pri povećanju od 10x



Slika 85. Snimak tragova trošenja kočione obloge 2 pri povećanju od 25x

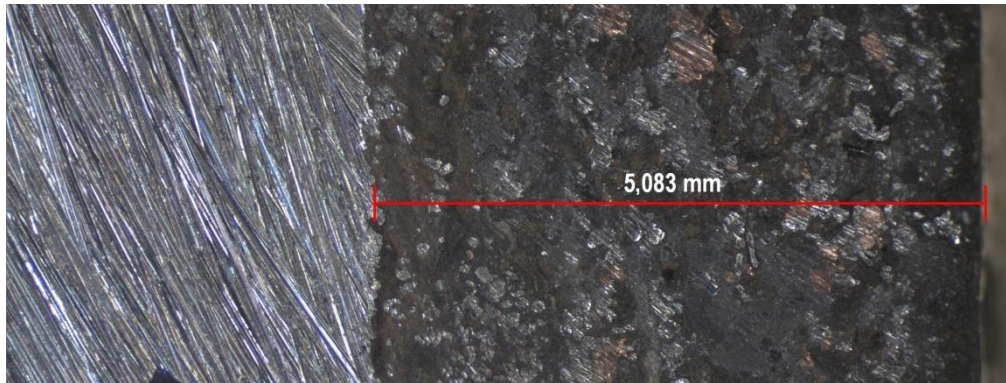


Slika 86. Snimak tragova trošenja kočione obloge 2 pri povećanju od 50x

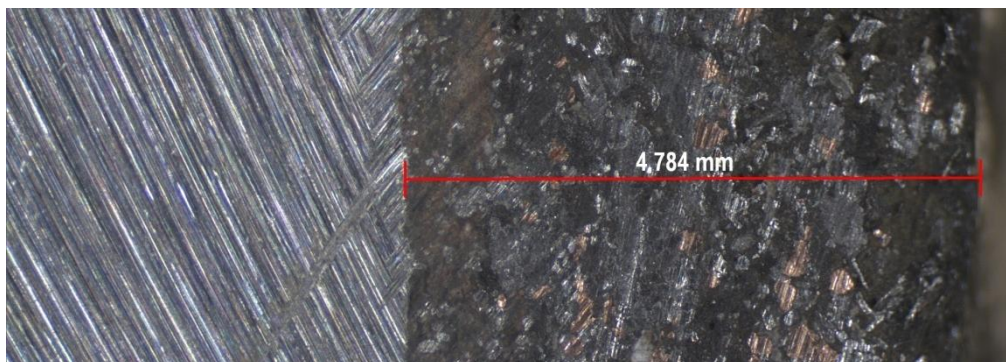
Na snimkama tragova trošenja kočionih obloga na stereo mikroskopu mogu se uočiti tamnija mjesta koja predstavljaju rupe u materijalu nakon što su se pripadajuće pojedinačne čestice odvojile od obloge i potrošile na disku za vrijeme kočenja.

Nakon analize traga trošenja, na istom mikroskopu, izmjerena je debljina obloge koja se nalazi na čeličnoj podlozi. Debljina je izmjerena blizu rubova te na sredini obloge uz povećanje od 15,6x.

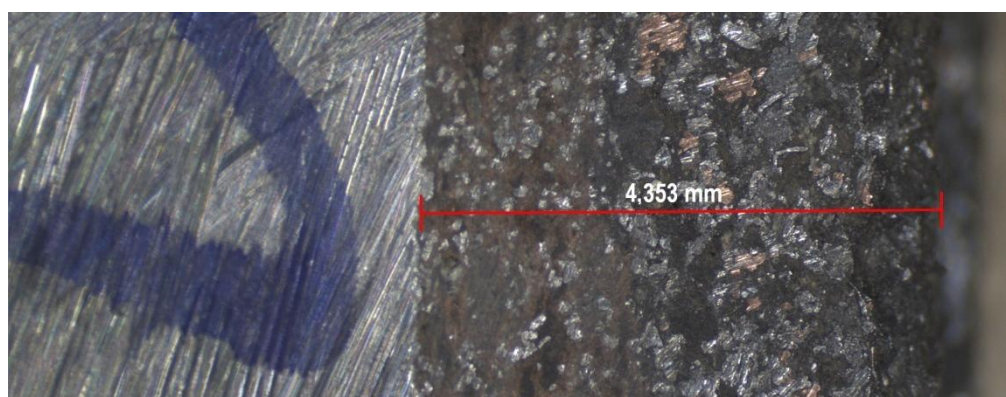
Kočiona obloga 1:



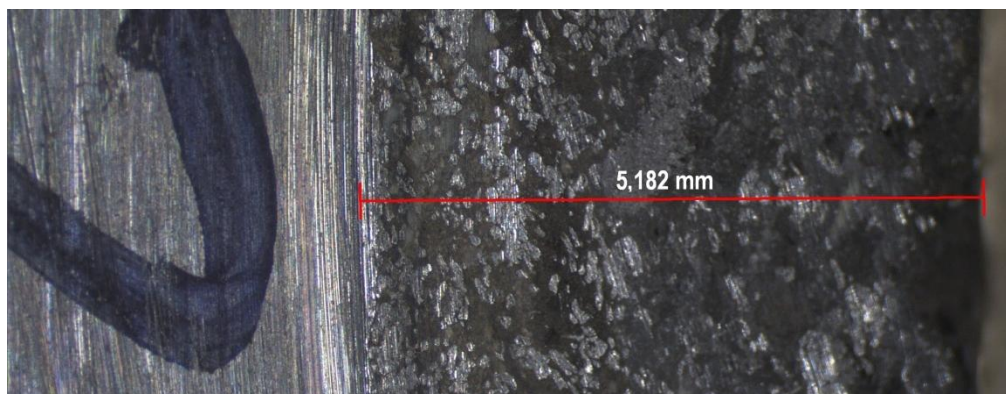
Slika 87. Debljina vanjskog ruba kočione obloge 1



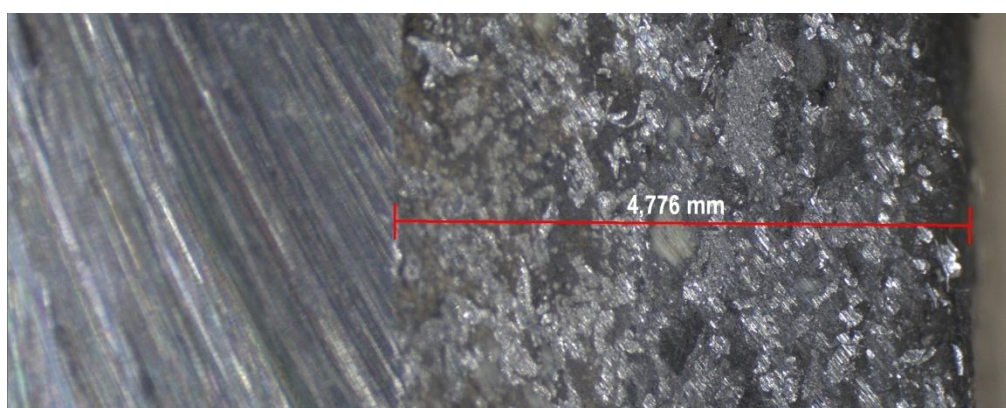
Slika 88. Debljina kočione obloge 1 u sredini



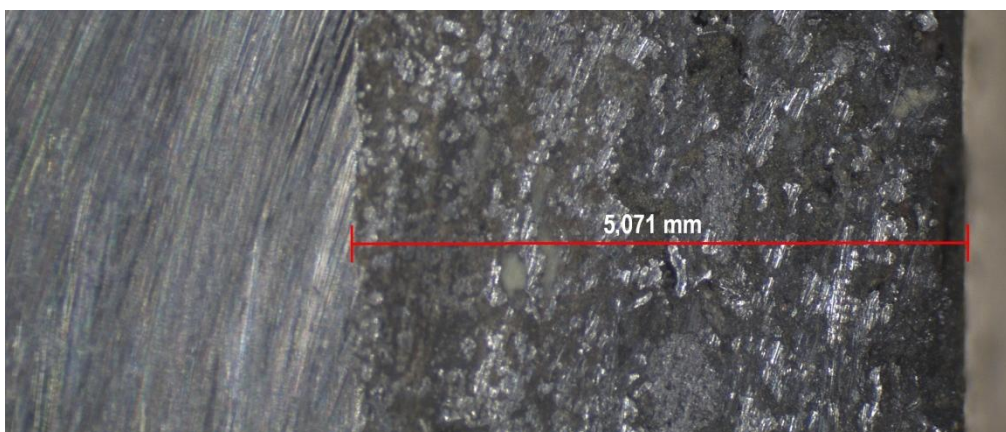
Slika 89. Debljina unutarnjeg ruba kočione obloge 1

Kočiona obloga 2:

Slika 90. Debljina vanjskog ruba kočione obloge 2



Slika 91. Debljina kočione obloge 2 u sredini



Slika 92. Debljina unutarnjeg ruba kočione obloge 2

Vrijednosti debljine kočionih obloga variraju od ruba do ruba. To može biti posljedica lošeg centriranja ili nalijegavanja obloge na disk. Jedan od takvih slučajeva je izmjena kočionih pločica koje treba postaviti na postojeći disk. Prije same izmjene tokarenjem se trebaju poravnati sve neravnine na površini diska da ne bi došlo do ubrzanog trošenja novih obloga. Zbog toga je potrebno što kvalitetnije provesti tokarenje postojećeg diska ako on još ima dovoljnu debljinu materijala koja zadovoljava kriterije da još može ostati u uporabi.

8. Zaključak

Zadatak ovog rada bio je prikupiti i analizirati kriterije izmjene potrošenih kočionih diskova i obloga kod više proizvođača automobila. Također, bilo je potrebno izvršiti karakterizaciju materijala i analizirati tragove trošenja na primjerima kočionih diskova i obloga koji su uklonjeni iz uporabe.

Iz kriterija izmjene, prikupljenih za 10 različitih automobila, donio se zaključak o toleriranim dimenzijama dijelova ovog tribopara u eksploataciji. U pravilu, izmjena kočionih diskova vrši se kada se njegova debljina smanji za 2 mm. Što se tiče kočionih obloga, njihova debljina ne smije biti manja od 3 mm.

Analizom kemijskog sastava XRF analizatorom i analizom mikrostrukture uzoraka na svjetlosnom mikroskopu, potvrđeno je da je materijal kočionih diskova sivi lijev s feritno – perlitnom osnovom te jednoliko raspoređenim, proizvoljno usmjerenim listićima (lamelama) grafita. Kočione obloge su izrađene od kompliciranog, sinteriranog, kompozitnog materijala koji u sebi sadrži različite tvrde i meke tvari, od kojih neke preuzimaju ulogu povećanja otpornosti na trošenje, dok neke imaju funkciju smanjenja buke i vibracija prilikom kočenja.

Mjerenjem mikrotvrdoće Vickersovom metodom, ustanovila su se rasipanja u vrijednostima na površini kočionih diskova, a razlog tomu su neravnine na površini nastale u procesu trošenja. Iz dobivenih srednjih vrijednosti mikrotvrdoće, 229 HV_{0,2} za kočioni disk 1 i 311 HV_{0,2} za kočioni disk 2, proizlazi da se sivi lijev teže obrađuje odvajanjem čestica što je povoljna karakteristika za disk u ovom tribosustavu. Mikrotvrdoća kočionih obloga uspješno je izmjerena samo u jednom otisku penetratora kočione obloge 1 s iznosom 91,4 HV_{0,2}. Taj nam iznos ukazuje da se obloga troši znatno brže od diska.

Na stereo mikroskopu provedena je analiza traga trošenja. Uočene brazde na diskovima posljedica su djelovanja tvrdih materijala iz kočione obloge. Slijedom toga u kočionim oblogama vidljive su pukotine gdje je došlo do ispadanja tvrdih čestica u procesu trošenja prilikom kočenja.

9. Literatura

- [1] <https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20II/11-TrenjeTrosenjeIPodmazivanje.pdf> 20.12.2018.
- [2] V. Ivušić, Tribologija, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2002.
- [3] Dinko Mikulić, Kočnice motornih vozila, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2010.
- [4] https://hr.bosch-automotive.com/hr/products_workshopworld_1/testing_equipment_products_5/brake_tester_and_test_lanes_testingequipment_products_6/overview_brake_testers_and_test_lanes 21.12.2018.
- [5] https://www.google.com/search?q=disk+ko%C4%8Dnice&client=firefox-b&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj9vuCx38rfAhUSLVAKHSPwDJ4Q_AUIDigB&biw=1366&bih=654#imgdii=Ld9riORNOxSYDM:&imgsrc=WPzYWRysNJqpkM: 21.12.2018.
- [6] Dinko Mikulić, Motorna vozila, Teorija kretanja i konstrukcija, VVG, Velika Gorica 2016.
- [7] <https://www.silux.hr/proizvodi/ovjes-i-pogon/kocioni-sustavi/kocioni-diskovi> 22.12.2018.
- [8] https://autoportal.hr/clanak/keramicke_disk_kocnice_ovo_su_najvaznijih_stvari_o_njima 22.12.2018.
- [9] <https://www.njuskalo.hr/kocnice-dijelovi/audi-a8-s8-keramicki-diskovi-kocione-celjusti-oglas-14082189> 22.12.2018.
- [10] [http://www.fipai.org.br/Minerva%2004\(02\)%2004.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2004(02)%2004.pdf) 3.1.2019.
- [11] <https://www.google.com/search?q=mikrostruktura+sivog+lijeva&tbm=isch&source> 3.1.2019.
- [12] Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, preveo: Goran Popović, Tehnika motornih vozila, Hrvatska obrtnička komora, Pučko otvoreno učilište Zagreb, Zagreb, 2004.
- [13] <http://www.auto-mag.hr/ate.php?s=3&lang=en> 4.1.2019.
- [14] <https://autoportal.hr/clanak/tokarenje-diskova-obveza-pri-izmjeni-disk-plocica> 4.1.2019.
- [15] <https://www.silux.hr/proizvodi/dodatna-oprema/tekucine/kocione-tekucine> 4.1.2019.
- [16] Tehničke specifikacije – Autodata
- [17] <https://cars.usnews.com/cars-trucks/audi/a4/2016> 5.2.2019.
- [18] <https://www.jabuka.tv/zene-izabrale-najbolje-automobile-2017/bmw-serija-5/> 5.2.2019
- [19] <https://auto-mane.com/recenzije/bmw/serija-3/bmw-serije-3-e46-1999-2007> 5.2.2019.
- [20] <https://www.autoblog.com/buy/2011-Mercedes-Benz-M-Class/?guccounter=1> 5.2.2019.
- [21] <https://www.vw.com/builder/> 5.2.2019.
- [22] <https://www.euroncap.com/en/results/renault/twingo/7891> 5.2.2019.
- [23] <http://bestcarmag.com/makes/Vauxhall/Astra/2003-Vauxhall-Astra> 5.2.2019.
- [24] https://www.buyacar.co.uk/deal_2225995.jhtml 5.2.2019.
- [25] <https://cars.usnews.com/cars-trucks/audi/q7/2015> 5.2.2019.
- [26] <https://www.carsguide.com.au/peugeot/308/price/2012> 5.2.2019.
- [27] V. Ivušić, M. Franz, Đ. Španiček, L. Čurković, Materijali 1, Sveučilište u Zagrebu, FSB, Zagreb, 2014.